

文章编号: 1009-3850(2002)04-0102-05

高分辨率层序地层学在油田上的应用

郝素凤, 马立祥

(中国地质大学, 湖北 武汉 430074)

摘要: 高分辨率层序地层学以全新的思路系统地提出了诸多层序地层学的新概念、新方法、新模式。运用该理论体系能增加层序地层分析的分辨率, 从而可更有效地提高储层描述和储层模拟的合理性, 将地质解释、测井解释和地震解释技术有机地结合在一起。凭借比以前更高精度的高分辨率层序地层学, 是对油田进行系统储层评价和预测的一种有效途径, 也是未来储层研究发展的一种趋势。本文就该理论在油田应用方面提出一些看法, 阐述了高分辨率层序地层学在油田上的实际应用及目前存在的一些问题。

关键词: 高分辨率层序地层学; 地震地层学; 储层预测

中图分类号: TE539.2

文献标识码: A

1 高分辨率层序地层学的发展

近 20 多年来, 层序地层学得到了很大的发展, 人们广泛将此应用于露头 and 岩心, 并运用古生物、测井、地震等资料, 对地层进行划分、对比和综合解释。1948 年, 北美地质学会年会的沉积相和地质历史研讨会上, Sloss 提出了地层层序 (stratigraphic sequence) 的说法, 并于第二年与他人共同发表了关于这方面的文章。1963 年, Sloss 发表文章——“北美克拉通内的层序”, 再次强调了层序的含义。很明显, Sloss 将“层序”定义为: 以不整合为界的岩石地层单元, 是构造旋回的岩石记录。在 Vail 等 (1977) 的《AAPG Memoir 26》出版前, Sloss 的成果分享者甚少, 几乎没有文献论及“层序” (sequence)。Vail 工作组运用地震资料的地层学解释技术发展了 Sloss 以不整合限制的层序, 而且 Vail 把层序的形成看成是对全球海平面变化的响应。70 年代中期到 80 年代中期是地震地层学蓬勃发展的年代。地震地层学的发展为层序地层学打下了坚实的理论和方法基础。《海平面变化——一种综合性的研究》(Wilgus 等, 1988) 和

《测井、岩芯、露头研究中的硅质碎屑岩地层学》(Van Wagoner, 1990) 的出版, 最终标志着层序地层学的诞生^[1]。

就在层序地层学问世以后, 以 Cross 领导的科罗拉多矿业学院成因地层研究组为代表, 自 80 年代至 90 年代中期创立了自己的利用测井曲线、岩石露头和钻井岩心的基准面旋回的高分辨率层序地层学 (high-resolution sequence stratigraphy), 运用过程-响应沉积学原理进行高分辨率层序的划分与对比技术、正演与反演数值地层模拟技术、地层对储层中流体流动速度与流体单元控制的研究等, 逐渐建立了一套以基准面旋回为基础的高分辨率层序地层学方法体系^[2,3]。该体系主要利用岩心、露头、测井和高分辨率地震剖面资料, 识别准层序级的层序地层单元 (薛良清, 1995; Embry, 1993)。

测井资料是高分辨率层序地层学的基础, 经岩心资料刻度的不同类型测井曲线的形态及其组合, 提供了岩性、岩相的叠置形式, 同时也提供了识别高频层序界面、划分准层序组、准层序以及研究准层序叠置样式的基础。

2 高分辨率层序地层学在油田方面的应用

层序地层学就是在地震地层学、测井地质学、过程沉积学、古生物学、同位素地质学等多个学科基础上,进行综合分析来研究等时年代地层格架中岩性序列间的成因联系和旋回关系。所谓高分辨率层序地层学,就是充分利用岩心、测井、露头 and 地震资料相结合的综合层序地层学研究方法,准层序的划分厚度比现有的更薄、更精确,甚至又划分出小层。地震地层学中数字地震技术发展,以及野外采集质量的提高,使原来地震构造成像变成成因地层成像,这样解决了地层划分的穿时性,保证了其界面的等时性^[4]。

图1是位于渤海湾盆地沾化凹陷的一个超覆带利用地震资料所标定的下第三系沙河街组一段。

在实际的应用当中,主要利用测井曲线识别和标志准层序组、准层序。油田实际过程中的小层与层序地层学中的小层完全不同。在理论上的小层即我们划分到的准层序;而实际应用上的小层则是指根据测井曲线所划出的砂体小层,该小层有可能是准层序,也有可能比准层序要小,或比准层序要大。所以在研究过程中要注意分析。

由于地震资料的分辨率低于测井曲线,因此在沾北地区只有根据它的测井曲线资料和岩心资料,才可以在地震资料的基础上又划分出6个准层序(图2)。

有时候在缺少必要的取心资料的情况下,笔者只能根据测井曲线进行大致分层,这就要求我们对测井曲线的岩电关系相当熟悉,还要结合当地的地

质情况和地史演化。图3是临南油田田口地区520井沙河街组三段上段的小层划分示意图。

岩性对比主要是依据沉积成层原理及岩性相似性、顺序性、连续性的特点。组合或标准测井曲线是进行对比的主要资料。临南油田田口地区砂泥岩互层沉积,岩层的电性差别不大,曲线形态和岩性对应关系清楚。在进行岩性对比的时候,首先要确定标志层,特别是它的等时面、沉积旋回、特殊岩性段等,选择具有代表性的井,且有较全的取心和岩屑资料,建立起岩性骨架剖面,开展小层划分对比^[5,9]。

在标志层(标准层)控制下,按旋回级次、厚度比例关系,从大到小逐级对比,不同的岩石组合在电测曲线上曲线形态不同,从而可以用沉积旋回对比砂岩组,再利用岩性和厚度相似原则对比小层或单砂体。笔者将520井设定为标准井,根据邻井沉积的等时性和相邻井厚度的微变化,划分相邻井的分层对比^[6~8](图4)。

从沾北地区的岩心资料来看,沙河街组一段主要以细粒碎屑岩和颗粒碳酸盐岩为主,沉积构造以反映弱水动力条件下的水平层理居多,缺少反映牵引流动力机制的交错层理。表明沙河街组一段沉积时期,该区是处于相对弱水动力条件下的滨浅湖—半深湖沉积环境^[3~9]。由于该区为碳酸盐岩环境,所以颗粒碳酸盐岩是本区沙河街组一段的主要储集层和产油层。在所划分的6个小层来看,在沙一段沉积的不同时期,由于湖平面的相对升降变化导致不同时期高频层序内的沉积相类型和空间展布也发生相应的变化。将所有井的沉积微相区分,就得出该区的沉积微相展布示意图(图5)。

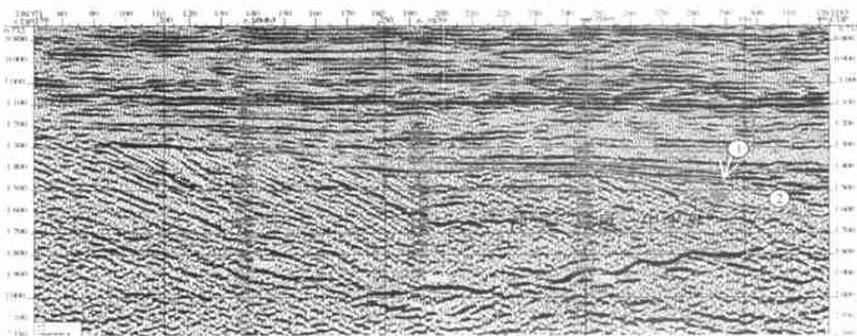


图1 利用地震反射剖面 and 测井曲线的正演模型标定的沙河街组地质层位

①沙河街组一段; ②沙河街组二、三段

Fig. 1 Geological profile through the first member of the Shahejie Formation in the Zhanhua depression, Bohai Gulf Basin

①= first member the Shahejie Formation; ②= second and third members of the Shahejie Formation

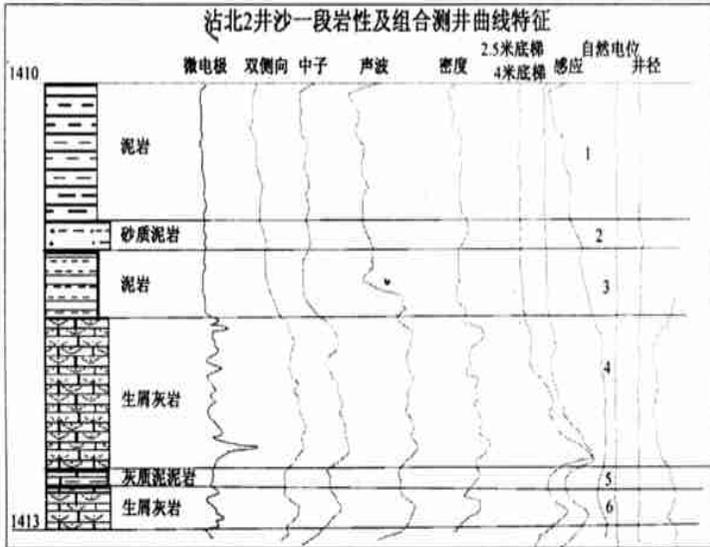


图2 利用测井曲线和岩心资料相结合划分高频层序

Fig. 2 Division of the high-frequency stratigraphic sequences based on well logs and cores

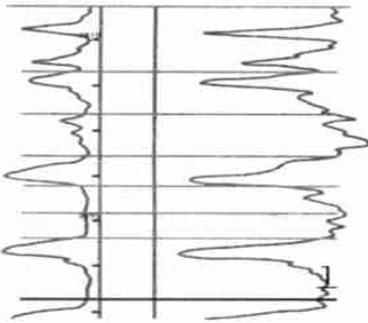


图3 520井沙河街组三段上段分层示意图

Fig. 3 Sketch to show the sequence division of the upper part of the third member of the Shahejie Formation through No. 520 well in the Tiankou region, Linnan Oil Field

根据其储层沉积相的展布和储集性能分析,可以分析岩石发育的主要层位和形成储层及其盖层的主要部位,同时进行远景预测,最终寻找潜在岩性圈闭油气藏发育的地区^[10,11]。另外,可以利用多井约束波阻抗反演技术来预测储层的横向变化^[12,13](图6)。

高分辨率层序地层学在石油上应用就是综合所有的测井资料、地震资料、岩心资料和流体动力学相结合,识别潜在储层,寻找有利的油气聚集区。

3 问题及结语

(1) 高分辨率层序地层学目前已经有了很大的

发展,而且在理论研究方面越来越趋向于成熟,应该说,该理论在解决地质问题和对于油田需要方面越来越完善。

(2) 地震地层学中,应用地震反射的几何参数(地震相)分析和物理参数(速度、振幅、频率)分析及地质地震模型的正反演技术来进行储层评价和预测时,其缺陷在于人们用于地震地质解释的地震反射剖面成像的基本原理主要是基于地下均一岩石的反射模型和波阻抗差所造成的地球物理参数和几何形态的变化,这对于地下普遍存在的非均质性岩层来讲却并不很符合现实情况。因为地震资料的解释不仅受其纵向分辨率,而且也受其横向岩层非均一性的影响。同时,利用地震反射剖面所作的地质岩相和物性参数的解释往往具有多解性。而沉积学和储层地质学及测井解释方法,又仅局限于有地质和测井资料的区域,并且横向分辨率(连续性)又低于地震资料的分辨率,尽管其准确度和精度优于地震资料的解释精度,但都无法确定无资料区域储层的相对准确位置。

(3) 目前面临的难点,是在油气储层岩相、评价和预测的地质研究中的地震、地质和测井资料的综合运用,使获得的研究成果更加客观和可靠,便于在勘探和开发工作中加以采用。

(4) 虽然计算机技术在层序地层学解释方面有了很大的发展,已经在生产上得到了利用,并取得了一定的成效,但是就目前应用在层序地层学方面的

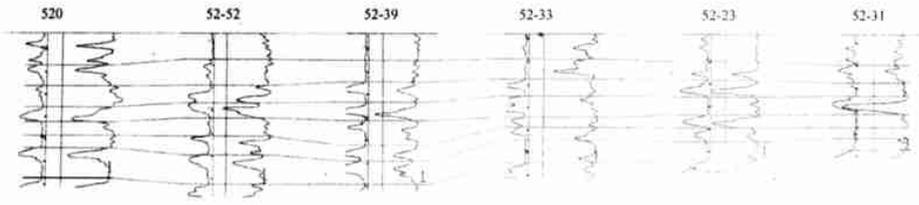


图4 临南油田田口地区沙三上段高分辨率小层划分

Fig.4 Sketches to show the sequence division of the upper part of the third member of the Shahejie Formation in the Tiankou region, Linnan Oil Field

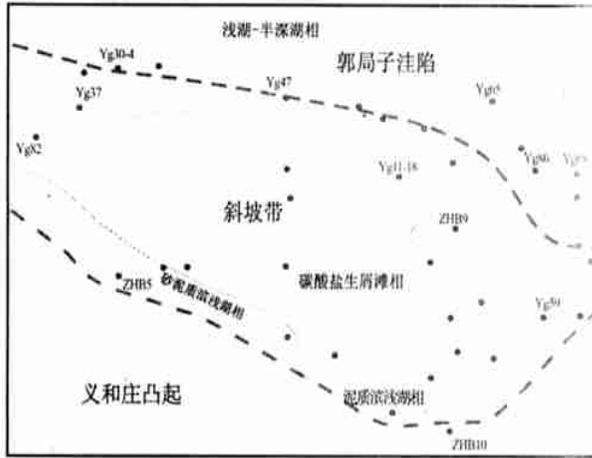


图5 沾北超覆带沙一段高频层序4(小层4)沉积微相平面展布图

(图中虚线为构造单元界限, 细线为相带界限)

Fig.5 Sedimentary microfacies distribution in the fourth high-frequency sequence of the first member of the Shahejie Formation in northern Zhanhua depression. The dashed lines represent the tectonic boundaries, and the fine ones represent the sedimentary facies boundaries

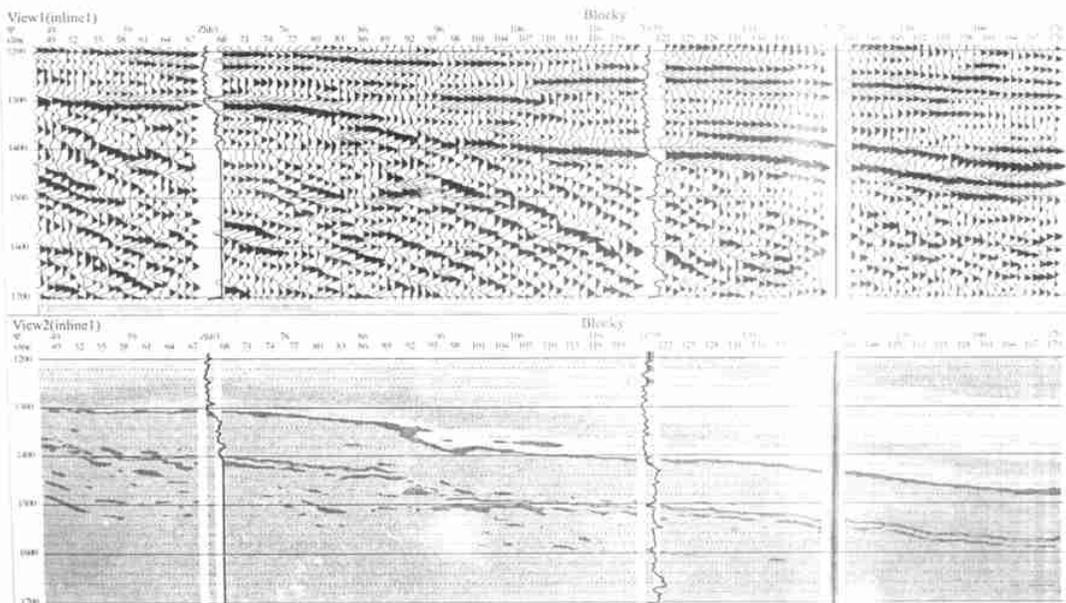


图6 利用三维地震资料的波阻抗反演剖面

Fig.6 Seismic profiles constructed on the basis of three-dimensional seismic data by using wave impedance inversion techniques

工作软件来看, 还不够完善。它对于地层的解释过于单一, 与实际地层的现状误差很大。今后我们需要在这个方面作出很大的努力。

(3) 目前面临的难点, 是在油气储层岩相、评价和预测的地质研究中的地震、地质和测井资料的综合运用, 使获得的研究成果更加客观和可靠, 便于在勘探和开发工作中加以采用。

(4) 虽然计算机技术在层序地层学解释方面有了很大的发展, 已经在生产上得到了利用, 并取得了一定的成效, 但是就目前应用在层序地层学方面的工作软件来看, 还不够完善。它对于地层的解释过于单一, 与实际地层的现状误差很大。今后我们需要在这个方面作出很大的努力。

(5) 目前存在的高分辨率层序地层学在实际应用方面具有多种模式, 但是却没有一个通用的模式以供运用。

参考文献:

[1] 杨小萍, 刘桂侠, 马文杰. 层序地层学研究现状及发展趋势[J]. 西北地质, 2001, 34(2): 16-20.

- [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[J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 89-97.
- [3] 林畅松, 张燕梅, 刘景彦, 等. 高精度层序地层学和储层预测[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 111-117.
- [4] 吴富强, 刘家铎, 胡雪. 经典层序地层学与高分辨率层序地层学[J]. 中国海上油气(地质), 2001, 15(3): 220-226.
- [5] 马立祥. 油田范围内五级界面层序沉积微相制图的意义及其实现途径[J]. 石油与实验地质, 1997, 19(3): 267-273.
- [6] 邓宏文, 等. 高分辨率层序地层对比在河流相中的应用[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(2): 90-95.
- [7] 姜在兴, 超应长, 等. 砂体层序地层及沉积学研究——以山东惠民凹陷为例[M]. 北京: 地质出版社, 2000.
- [8] 李阳. 河道砂储层非均质模型[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [9] 赵澄林, 张善文, 袁静, 等. 胜利油区沉积储层与油气[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999.
- [10] 瞿辉. 层序地层学及其在油气勘探中的运用[J]. 地学前缘, 2000, 7(B08): 257-262.
- [11] 曾文冲, 欧阳健. 测井地层分析与油气评价[M]. 北京: 石油工业出版社, 1987.
- [12] 郑小武, 邓宏文, 徐怀大, 等. 测井高分辨率层序地层自动划分技术与应用尝试[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(4): 357-360.
- [13] 吴胜和, 马晓芬, 陈崇河. 测井约束反演在高分辨率层序地层学中的应用[J]. 地层学杂志, 2001, 25(2): 140-143.

The application of high-resolution sequence stratigraphy to oil field exploration

HAO Su-feng, MA Li-xiang

(China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China)

Abstract: The last decades have seen considerable advances in the research on sequence stratigraphy, especially on high-resolution sequence stratigraphy. The presentation of new terminology, new techniques, and new models in this field may give a better resolution for the interpretation of geological, well logs and seismic data so as to contribute to the recognition of parasequence-scale sequence stratigraphic units and potential reservoir rocks and exploration of favourable oil and gas accumulation areas.

Key words: high-resolution sequence stratigraphy; seismic stratigraphy; reservoir prediction