

文章编号 :1000-0550(2002)01-0101-05

垦西油田馆陶组河流沉积高分辨率层序地层研究

刘星¹ 陆友明² 程守田¹ 胡光道¹

(¹中国地质大学 武汉 430074) (²胜利油田海洋石油开发公司 山东东营 257237)

摘要 河流相地层沉积环境特殊,难于用传统的地震层序分析方法来进行层序划分与解释,Cross分析基准面与成因地层形成的过程响应原理,是利用高分辨率地层方法来研究河流地层的理论基础。

高分辨率等时地层对比的关键是不同级别基准面旋回的识别。利用岩芯资料及其沉积标志,分析沉积微相类型及组合关系,可识别短期基准面旋回。在建立测井曲线响应模板的基础上,根据短期旋回的叠加样式,可识别中期基准面旋回。把基准面旋回转换点作为高分辨率等时地层对比的优选位置,进行连井剖面地层对比,建立河流地层高分辨率地层格架。

以基准面旋回变化特征为研究对象,分析了河流相地层发育的过程演化规律及其沉积相横向迁移、纵向组合叠加关系与基准面旋回变化之间的藕合。通过深入研究,认为馆陶组地层形成的环境区别于传统的模式所指的环境,在分析了古典模式的基础上,指出了本区河流地层模型的独特之处。

关键词 河流沉积 高分辨率层序地层 基准面变化 沉积模式 垦西油田

第一作者简介 刘星 男 1974年出生 在读博士 沉积学及遥感地质

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

1 引言

河流相地层由于其沉积环境的特殊性,在横向上相变剧烈,垂向上也往往是数百米至上千米单调的河道和泛滥平原沉积互层产出,化石少,标准层不稳定,因而对河流地层的精细层序划分和小层对比一直是一个棘手的问题^[1],很难用传统的地震层序分析方法(依据几何形态与反射终止类型)进行层序划分与解释^[2],生产上影响油田开发中油藏的数值模拟物理基础,理论上限制了河流地层的层序模型及其演化规律研究。虽然 Vail 和 Posamentier 非海相地层的层序地层模式已很成熟,但并不能在(所有)地层应用中得到检验^[3]。Miall 引进平衡剖面的概念来评价层序模型是一个重要的进展。嗣来,科罗拉多矿业学院 Cross 领导的成因地层组引用并发展了 Wheeler 基准面的概念,分析了基准面旋回与成因地层形成的过程响应原理^[4],是利用高分辨率地层的方法来研究河流地层的重要理论基础。

高分辨率层序地层学就是利用高分辨率地震剖面、测井、岩芯和露头资料,通过对地层基准面变化的分析,运用精细的层序划分和对比技术,建立油藏的高分辨率层序地层格架。它强调三个基本原理,即地层基准面原理,体积划分原理和相分异原理^[5]。

2 区域地质背景

垦西油田位于山东省利津县,构造上处渤海湾盆地济阳拗陷沾化凹陷中部,其北以孤北断层为界与渤南洼陷主体相邻,南以三和村洼陷与陈家庄凸起毗邻(图1)。

本区第三系经历了裂陷和拗陷两个构造演化阶



图1 垦西油田构造地理略图

Fig. 1 Sketch map showing tectonics and geography of Kenxi oil field

段,早第三纪裂隙阶段发育以湖泊三角洲为主的沉积建造,早第三纪末期,盆地发生整体拗陷,馆陶组地层属于该阶段的晚第三纪沉积,广泛发育于渤海湾盆地,以河流相为主,厚520余米。馆陶组底的侵蚀面为层序底界面,砂岩碎屑组分主要由石英、长石、岩屑组成,颗粒磨圆差,以次棱角状为主,结构成熟度低,垂向上多个向上变细的正旋回,表明本区河流相地层经历了由辫状河到曲流河再到泛滥平原沉积的多阶段演化特点。

3 基准面旋回的识别

地层的旋回性是基准面相对于地表位置的变化产生的沉积作用、侵蚀作用、沉积物路过形成的非沉积作用和沉积不补偿造成的饥饿乃至非沉积作用随时间发生空间迁移的地层响应^[2]。馆陶组河流地层岩相类型组合所反映的地层旋回,记录了相应的基准面旋回,存在着基准面旋回经历的时间“痕迹”。从岩芯剖面上识别这些“痕迹”,是高分辨率层序划分对比最可靠的依据。在岩芯观察识别的旋回、沉积相基础上,结合区域测井曲线和地震剖面分析,能有效地建立整个区域河流冲积地层的高分辨率层序格架、对层序的分布规律进行精确预测。

3.1 岩芯剖面上的识别标志

(1) 曲流河或辫状河点砂坝之下往往发育有河道冲刷和滞留沉积,代表区域基准面下降到地表之下,可容空间为零甚至为负的沉积背景,通常认为是基准面旋回的开始。

(2) 沉积微相类型组合或岩性组合在垂向上转换的位置,如两期砂岩组合过渡之间泥岩,被认为是基准面转换的位置。

(3) 基准面变化的波动,必然反映在岩相的类型和组合变化上,反之,则不一定成立,因此,对沉积相类型的认识区分是基准面识别的重要前提,如同样是向上变细的相序,河道砂体的正粒序反映了基准面的局部上升,而对于决口水道砂体,则是自旋回的结果,受控于沉积体系本身,并不反映高级别的基准面变化特征。在冲积沉积环境中能识别的沉积微相类型特征如下:

滞留沉积岩性以含同生泥砾的块状砂岩、含砾砂岩为主,发育高角度板状、槽状交错层理及块状层理,代表了水动力条件较强的高能快速堆积条件,其下常为冲刷面。

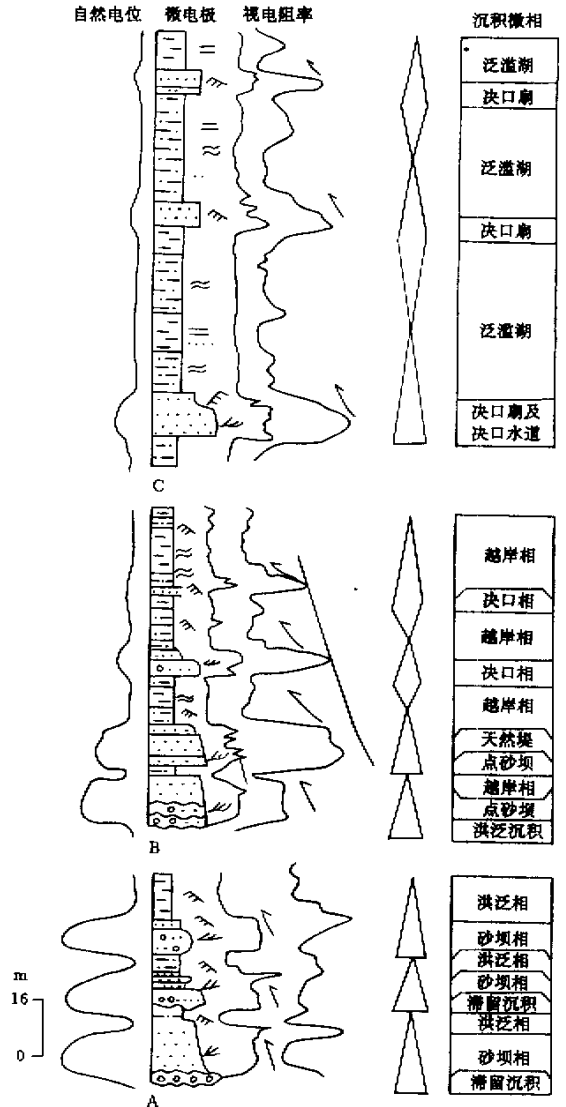
心滩或点坝沉积发育于河床滞留沉积之上,沉积物以中粗粒为主,有时可出现砂砾岩,具小型交错层理及低角度交错层理。在辫状河环境中,受河道频繁的

侧向迁移影响,砂坝常被河道侵蚀。

天然堤沉积以细砂岩和粉砂岩薄互层为主,发育小型交错层理及爬升波纹层理,含植物根化石,垂向上向上变细,与越岸细粒沉积物过渡。

决口扇沉积由粉砂岩、粉细砂组成,底部为块状层理,中上部是小型板状层理,顶部为片流沉积,向上过渡为泛滥泥岩沉积。通常出现在曲流河环境中。

越岸沉积是悬浮状态的细粒沉积物在洪水期越岸后在泛滥盆地中沉积形成的,以薄层砂岩与泥岩互层



A. 辫状河流环境非对称短期旋回 B. 曲流河环境半对称短期旋回 C. 曲流河泛滥盆地环境对称短期旋回

图2 河流环境下识别的几种短期旋回特征

Fig. 2 Some types of short tem cycles recognized in the fluvial environment

为特征,发育多种类型的小型层理。

根据上述旋回标志以及沉积微相特征识别出的短期基准面旋回(图 2)。

3.2 测井曲线识别标志

建立全区的层序对比框架,首先要从无芯井的测井曲线上识别出基准面旋回变化以及岩性组合的标志。这些资料的分析 and 获得建立在取芯井岩芯识别出的基准面旋回与测井曲线之间的模板之上。测井相模板的建立主要根据自然电位(SP)、自然伽玛(GR)和电阻率(R)的曲线特征来进行。识别出的沉积相类型如下:

A 型: SP、COND 曲线呈箱形或钟形,加积正粒序沉积序列,砂体厚度 8 m 以上,孔渗性最好,对应的沉积微相为河道滞留与心滩、边滩或滞留与点坝在垂向上的组合,底部突变往往为滞留沉积,其上发育心滩或点坝,滞留沉积一般很薄。

B 型: SP、COND 曲线呈低幅钟形,正粒序结构,砂层厚 4~10 m,底部含滞留砾岩沉积,孔渗性不如 A 型,对应微相类型是砂坝。

C 型: 曲线形态呈齿化钟形,正粒序结构,砂体厚度 2~4 m,顶部发育天然堤,是河道边滩或天然堤的组合。

D 型: 为中小厚层的钟形曲线,正粒序变化代表浅水次级河道或决口水道沉积,往往在一次大的决口之后,伴随着几次小型的决口沉积。

E 型: 曲线形态呈指状或尖刀形,厚度小于 2 m,渗流能力中等,解释为溢岸沉积。

F 型: 曲线形态平直,以泥岩为主,是泛滥平原泥岩和越岸细粒沉积的组合微相。

根据标准井的旋回界面标志,结合上述沉积微相和测井曲线标志,短期旋回叠加样式,可以确定基准面旋回的变化。

图 3 是运用测井曲线中短期旋回变化的叠加样式确定的中长期基准面旋回。每一个短期旋回代表一个小的或局部的可容空间变化旋回,一组短期旋回叠加样式的岩性组合,构成一个较长周期基准面旋回。单向(向最大或最小)移动,相邻短期旋回形成时的可容空间变化不大,因此从测井曲线上识别中长期基准面旋回的变化,是可靠和有效的。

4 井震对比及高分辨率地层对比

地震剖面反射界面基本是等时的或平行于地层内的时间面,因而可以结合测井旋回分析结果和岩芯观察,利用地震剖面进行基准面变化的分析,建立高分辨率地层对比格架。图 4 是测井曲线旋回与地震剖面旋

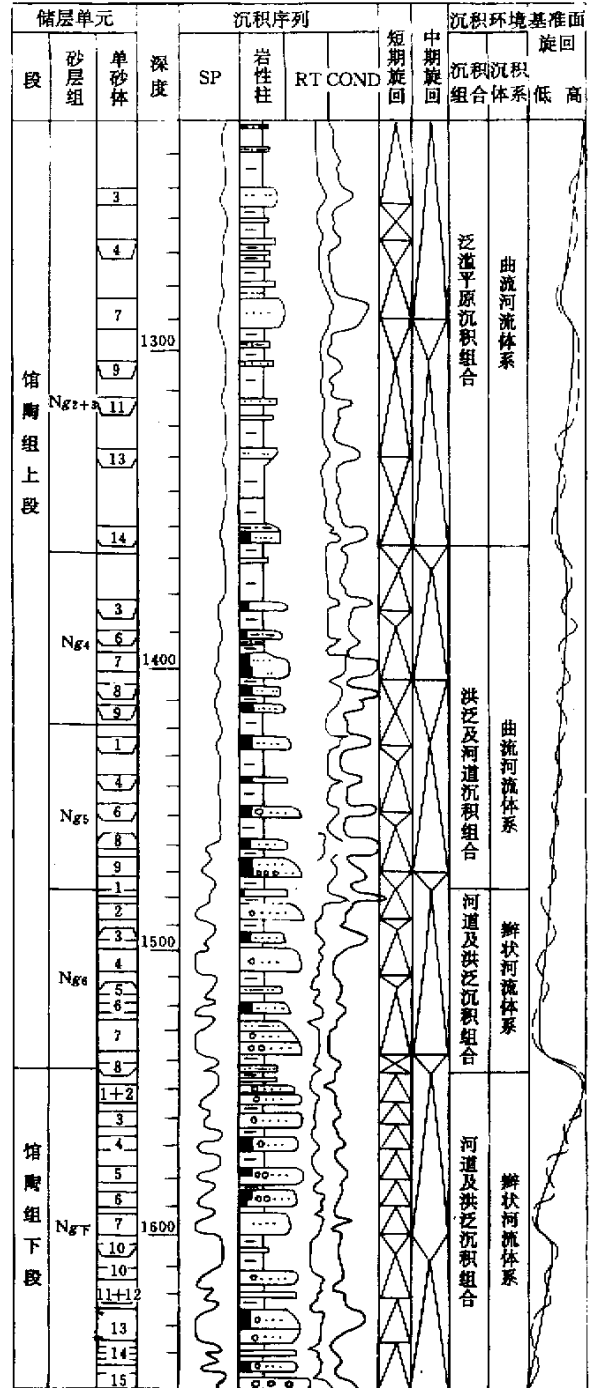


图 3 垦西油田馆陶组沉积基准面旋回变化

Fig. 3 The map showing depositional base level variation of Guan tao Formation in Kenti oil field

回的对比如合结果。

由于地震剖面线排间距较大,不能满足精细对比的需要,需要利用测井曲线旋回的对比如来建立高分辨

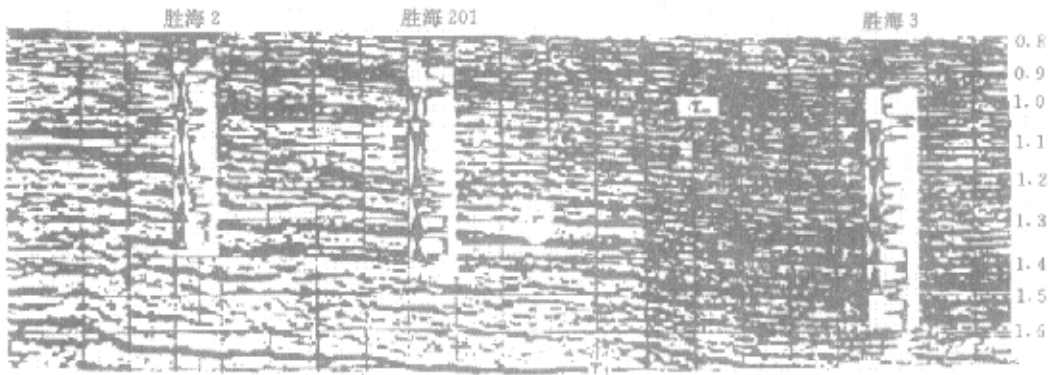
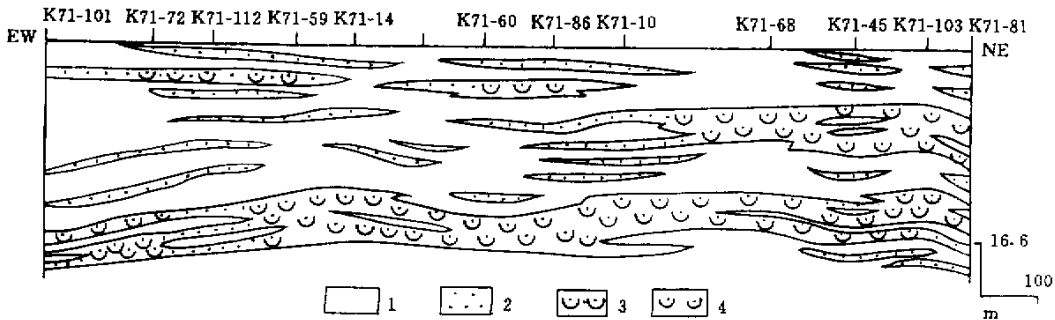


图4 沾化凹陷滩海地区馆陶组上段基准面旋回井—震对比(据邓宏文等,1996)

Fig.4 Correlation of base level cycles between log and seismic data of upper Guang tao Formation in Zhanhua sag



1. 泛滥沉积 2. 决口扇河道沉积 3. 决口扇河道沉积 4. 曲流河道充填沉积

图5 垦西油田馆陶组第五段高分辨率层序地层框架

Fig.5 High resolution stratigraphy sequence of the 5th portion of Guan tao Formation in Kenxi oil field

率地层格架。通常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选位置(Cross, 1994),在对比中要通过地层的过程分析把握岩性间对比、岩石与界面对比的位置。时间—空间图解^[2]是对地层剖面进行时间—空间反演的有效方法,有助于对地质过程的响应理解。图5是根据馆陶组河流地层沉积环境的堆积模式、厚度的时空变化以及测井旋回变化做出高分辨率地层格架(馆5段)。

高分辨率地层对比是同时代地层的对比,不是旋回幅度的对比,贯穿了对地层沉积过程的分析。中期旋回的变化代表了可容空间增加和减小的二分性。不同的沉积环境表现的二分性即旋回的对称性截然不同,在辫状河环境下中期旋回对称性比曲流河环境差,根据沉积的过程分析,是由于辫状河时期基准面上升半旋回的沉积物被下降半旋回低基准面河道所侵蚀。

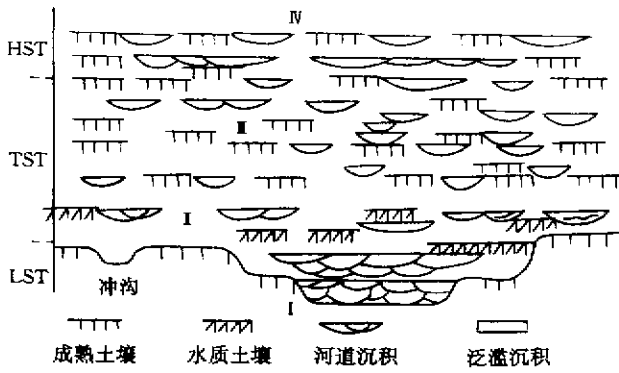
中期旋回所代表的可容空间由小到大的旋回过程十分明确^[6]。而长期旋回的对称性差,只发育上升半旋回^[1]。短期旋回的对称性较明确,由于横向变化较

大,难以用于区域对比。中期旋回基准面旋回的界面一般处于河道底部,代表基准面下降到最低,可容空间为零甚至为负,地表遭受剥蚀或下切侵蚀。中期基准面旋回由上升到下降的转换位置多数处于泥岩最厚处,表明基准面最大,可容空间最大,地形低洼,沉积物供应缺乏的时期,相当于海相或湖相最大水泛面时期^[6]。

5 河流地层层序模型讨论

本次研究地层是大型冲积平原环境下的多种类型的河流演化叠加层序。从河流的定义(从冲积扇端到第一个分支河道分叉点之间的沉积范围)来看,有关河流沉积地层的层序地层学研究还较少,国外学者做了一些探索性的研究,普遍认为将层序地层的研究思路和方法应用到河流体系中不仅是可能的而且是必要的。V. P. Wright 提供了一个较好的冲积河流沉积层序模式(图6)。该模型把河流的演化划分为低位体系域、水进体系域、和高位体系域三个阶段,四个时期。

I期——低位时期,基准面较低,以侵蚀搬运为



LST. 低位体系域 ;TST. 水进体系域 ;HST. 高位体系域
 图 6 三级基准面控制下的河流沉积体系建造模型
 (据 Wright 和 Marriott^[3])

Fig. 6 Fluvial depositional system model

under the control of the short term base level cycles

主, 局部接受限制性的粗碎屑河道沉积, 阶地上可发育高成熟土壤, 但大部分被后期河道侵蚀破坏。

II 期——水进早期, 基准面开始升高, 可容空间开始逐渐增大, 沉积速率也相应增大, 一般形成厚度大、横向连续性好的砂体, 土壤的水质化现象普遍。

III 期——水进后期, 可容空间迅速增大, 沉积速率稳定增加, 形成完整的单个砂体, 泛滥细粒沉积泥岩变厚。

IV 期——高位时期, 基准面较高, 可容空间稳定增大, 出现砂体逐渐前积, 泛滥平原泥岩向上过渡到砂体堆积, 可容空间增长为零实际表现是基准面的相对下降。

该模式提供的基准面变化与地层发育演化的关系, 能有效地预测河流相地层堆积样式和分布规律。应当指出, Wright 的模型还是基于陆架边缘海河流沉积环境的, 其中的术语并不能与陆相沉积古地理环境相对应, 而且层序的模型并没考虑到陆相冲积泛滥平原环境的沉积背景。在第 IV 期, 对于冲积泛滥平原环境而言, 填平补齐已经结束, 沉积物的供给趋于为零, 应当出现砂体消失和泛滥平原河漫湖向滨岸过渡的泥岩沉积(如本次研究区的 Ng₂₊₃段), 这与边缘海环境河流沉积末期高差仍较大的情况是不同的。

根据图 3, 馆陶组整套地层作为一个层序对应了

二个长期基准面旋回, 即馆陶组上段和馆陶组下段, 馆下段旋回具有较低的可容空间/沉积物供给(A/S)比, 表现为厚层粗粒辫状河流发育, 这是基准面相对较低的反映, 之后, 基准面有所下降, 反映在馆下段顶部河流侵蚀能力加强。馆上段相对有较高的 A/S 比, 表现在河道砂体的厚度、连续性、砂泥比比馆下段差。

馆下段可分为两个中期旋回, 由两个上升半旋回和两个下降半旋回组成, 馆上段可分为五个中期旋回, 分别为下(Ng₆)、中下(Ng₅)、中(Ng₄)、中上(Ng₃)、上(Ng₂)。

馆下段下部相当于图 6 所示模式的 I 期, 继承了早期地形, 下切谷和侵蚀发育, 阶地上发育有成熟土壤, 但往往被后期河道所侵蚀剥蚀。馆下段上部砂体个体较大, 但下切侵蚀不发育, 相当于 II 期沉积, 反映了基准面的迅速升高, 可容空间稳定增加, 砂体厚度, 横向连续性都较好。馆下段顶部时期, 基准面有所下降, 表现在馆下段顶部河流侵蚀能力加强。馆下段末期, 可容空间迅速增大, 发育一套厚层泥岩, 但持续时间较短, 泥岩不厚。馆 6 段相当于模式的 I、II 期, 表现在馆 6 段下部砂体厚度大, 连续性好, 对下伏地层有所侵蚀, 但它不象馆下段下部沉积受到沉积古沟谷限制, 而是发育范围广泛。向上, 基准面稳定增加, 可容空间较大, 沉积物供应逐渐减少, 具体到馆 5、馆 4 段就是相当于模式图的 III 期沉积, 馆 2+3 段相当于 IV 期沉积, 此时, 新的基准面和沉积面趋于一致, 整个济阳拗陷近于填平统一。

参 考 文 献

- 1 叶良苗, 裘亦南. 河流相古土壤及其在河流地层对比中的应用[J]. 沉积学报, 1991, 9(2): 63-69
- 2 邓宏文. 层序地层学基准的识别, 对比技术应用[J]. 石油天然气地质, 1996, 17(3): 177-184
- 3 Wright P V, Susan B Marriott. The sequence stratigraphy of fluvial depositional systems: the role of floodplain sediment storage[J]. Sedimentary Geology, 1993, 86: 203-210
- 4 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
- 5 刘建民, 李阳. 孤岛地区馆陶组河流沉积地层的高分辨率层序地层样式[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(6): 31-32
- 6 许广明, 徐怀大, 孔祥言. 高分辨率层序地层学在油藏数值模拟中的应用[J]. 石油天然气地质, 1999, 20(2): 115-119

特征 J]. 成都理工学院学报, 1999, 26(4): 375~381

层序地层学研究 J]. 沉积学报, 2000, 18(1): 50~56

7 柳梅青, 陈亦军, 郑荣才. 川西新场气田蓬莱镇组陆相地层高分辨率

Sequence Analysis and Source-Reservoir-Cap Rock Associations of Nadu Formation in Baise Basin

PENG Jun¹ ZHENG Rong-cai² CHEN Jing-shan¹

¹(State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Southwest Petroleum Institute, Nanchong Sichuan 637001)

²(State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

Abstract Through the comprehensive analysis of out crop, rock cores, well loggings and seismic data, one super-long-term, five long-term and sixteen middle-term base-level cycle sequences are distinguished in Nadu Formation of Baise basin. In this paper, the relationship between the source-reservoir-cap associations and the base-level cycle sequences of Nadu Formation are discussed in detail, and some knowledge is acquired as follows: (1) long-term base-level cycles bear close relation to source-reservoir-cap rock associations, the main reservoir sand bodies develop in the early-middle stage of the uprising periods and middle-late stage of subsiding periods of the long-term base-level cycle, and the main hydrocarbon source rocks and favourable regional cap rocks develop at the turning position from uprising to subsiding of the long-term base-level cycle; (2) the characteristics of source-reservoir-cap rock associations developed in each long-term base-level cycle are distinctly different and controlled by the frequency, amplitude of the rising and falling of the base-level, facies association, accommodation and A/S ratio; (3) according to the spatial relationship of source rocks, reservoir rocks and cap rocks in the vertical or horizontal section of the formation, three types of basic associations can be divided. The first associations is usually of the type with source rocks in the upper and reservoirs below, the second one with source rocks below and reservoirs in the upper, and the third one with source rocks in other district.

Key words base-level cycle, sequence interface, sequence analysis, source-reservoir-cap rock association, Nadu Formation, Baise basin

(Continued from page 105)

High Resolution Stratigraphy Study on Fluvial Deposit of Guantao Formation in Kenxi Oil Field

LIU Xing¹ LU You-ming² CHENG Shou-tian¹ HU Guang-dao¹

¹(China University of Geoscience, Wuhan 430074)

²(Marine Petroleum Exploitation of Shengli Oil Field, Dongying Shandong 257237)

Abstract It is difficult to divide and interpret the fluvial strata because its depositional environment is very special compared with others. The response principle between base level cycle and genetic strata developed by Cross is regarded as the basic theory for high-resolution stratigraphy applications in fluvial strata.

The key of high resolution isochronostratigraphic correlation is to identify multi-level base cycles. Short-term base level cycles can be identified by sedimentary microfacies, analysis on the well profiles and the well profile themselves. The mid-term base level cycles also can be identified by stacking patterns of short-term cycles on the base of log curves facies model. Taken the turnaround point of base-level cycle as optimal positions in the connected wells' profile isochronostratigraphic correlation, the high resolution sequence stratigraphic framework can be established.

The paper has analyzed the evolution principle of fluvial strata and the coupling between base level and sedimentary lateral migration, vertical stacking from the view of base level variation on the established framework, and pointed out that the environment model is finally different from the classical one.

Key words fluvial deposit, high resolution stratigraphy, base level variation depositional model, Kenxi oil field