

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

高频湖平面升降旋回与等时储层对比

——以辽河西部凹陷欢50块杜家台油层为例

郭建华

(江汉石油学院地质系,湖北荆州,434102)

内容提要 湖平面的升降旋回是控制储集岩层分布的主要因素,因此,可根据这些客观存在的沉积旋回界面进行等时储层的划分与对比。辽河西部凹陷属断陷湖盆,这种湖盆中的旋回沉积层序的格架不同于被动大陆边缘型盆地的沉积层序格架,可用湖进—湖退(T—R)旋回来进行描述。区内不同级别或不同频率的T—R旋回分别对应于油层、油组及砂岩组。油层大致相当于全球三级旋回,是区内构造幕式性活动的结果,而油组及砂岩组则分别相当全球四级及五级旋回,属米兰科维奇气候旋回的范畴。根据T—R旋回原理所划分的油组及砂岩组,储集砂体在横向及垂向上的分布与变化具有很强的规律性,这种规律性有利于油层的开发。

关键词 断陷湖盆 湖进—湖退旋回 油组 砂岩组 辽河西部凹陷

欢50块位于辽河西部凹陷的西斜坡之上,面积仅3 km²,杜家台油层是西部凹陷最底部的沙河街组四段顶部的一套地层,研究区内厚度约237 m。区域上由4套泥岩将其划分为3个油组,从上自下分别命名为I油组、II油组及III油组。每个油组的内部按泥岩隔层可进一步划分为3个砂岩组,因此,杜家台油层分为3个油组及9个砂岩组。详细的沉积相研究表明,欢50块杜家台油层的储集砂体主要是近源粗碎屑的扇三角洲沉积^[1]。作为划分油组的几套泥岩测井响应特征明显,且在区域内分布较为稳定,它们代表了湖面上升或湖进期的沉积地层,因此,可作为油组划分的标志层。但是,笔者在对研究区杜家台油层储层进行对比时,发现划分油组的泥岩层其顶、底并非是一个精确的等时界面,尤其是作为砂岩组划分依据的泥岩隔层,在区内分布的稳定性差,平面上难以追踪和对比,所划分的砂岩组则常出现穿时现象。本文依据湖平面升降旋回原理以及升、降过程中沉积地层垂向堆叠型的特征,提出对这种陆相断陷湖盆的储层进行高精度的等时地层对比方法。

1 高精度储层等时对比的基本原理

沉积岩层的颜色、岩性、粒度等特征在垂向上所表现出的旋回现象,很早以前就已引起了地质学家的重视^[2],不少学者对其成因、内部构成,以及这种旋回性在区域范围内的对比做了大量的研究工作。尤其是以EXXON公司创导的“层序地层学”这门新学科的兴起,将这种沉积旋回性赋予了等时地层成因的概念^[3],认为一个沉积旋回是一次海平面相对升降变化的结果,可在区域范围内,乃至全球范围内进行对比。

在一个旋回的每个层段中,海平面变化的速度不同,其与沉积物堆积速率之比值也不同,可用沉积速率与海平面变化所产生的可供沉积物堆积的空间,即容纳空间的增加速率之比值

来度量,即沉积速率/容纳空间增加速率,比值 >1 ,反映了海平面的相对下降,沉积物不断向盆地中心推移,所堆积成的副层序组具有进积的特点;比值 <1 ,反映了海平面相对上升,沉积物向岸退缩,所堆积成的副层序组则具有退积的特点;比值 $=1$,代表了海平面相对稳定,所堆积成的副层序组具加积特点。因此,在一个旋回层序中,不同的地层界面分别代表了不同级别的等时界面,依此,可进行等时地层的对比。

“Vail 学派”的层序地层学格架概念及体系模式是来自于被动大陆边缘型盆地,而不同类型的沉积盆地具有不同的格架模式^[4,5]。对于陆相断陷湖盆而言,直接应用 Vail 模式显然是不合适的。因为这种断陷湖盆边缘坡度陡,没有相当于陆架之上的平坦部分,离物源区近。控制湖平面的因素主要是构造(断层)活动、气候变化及沉积物源。所形成的层序地层框架模式也不同,尤其是对于主要是高频旋回的湖平面变化,其升降幅度较小,因此,很难套用“以侵蚀不整合面及其相对应的整合面为界来进行层序等时界面的划分和对比”,也难以套用“低水位体系域、海(湖)侵体系域及高水位体系域”的内部体系域的构成模式^[6]。

但是,通过对渤海湾陆相断陷湖盆沉积充填体系的高频旋回的研究表明,在一个组或者一个段的地层中,类似于 Johnson 等人描述的 T—R 旋回层序^[7],即反映湖进—湖退的旋回层序是非常发育的,在这里,笔者仍将湖进—湖退旋回组合命名为 T—R 旋回^[8],T 代表湖进,R 代表湖退。这种旋回层序可通过取心井段、测井及地震资料识别及追踪对比。一个完整的旋回层序的内部构成仍然可用体系域、副层序组及副层序来加以描述。很显然,这种湖进—湖退的旋回层序由下部的湖进体系域及上部的湖退体系域两大部分组成。

湖进体系域的底界以一个明显的湖泛面或湖侵面开始,顶界则以最大湖泛面结束。由于湖进期代表的是湖面上升、湖盆扩张,沉积速率/容纳空间增加速率 <1 ,因此,湖进体系域则为典型的退积副层序组堆叠型式。湖退体系域的底界面为一个下超面^[9],它代表了湖面相对下降、湖盆收缩、沉积速率/容纳空间增加速率 >1 ,因此,该体系域的内部副层序以进积堆叠型式为特征。湖进体系域与湖退体系域间以最大湖泛面为分界。岩心上,该界面表现为沉积速率最慢,粒度最细,有机质含量最丰,生物化石最密集;电性上则表现为放射性绝对值最高,电阻率值最低;地震反射界面常为一个下超面;副层序堆叠形式上则为退积副层序组向进积副层序组的转换面。该界面是一个客观存在的物理界面,它基本上不受物源区的控制,而仅仅只是在物源供给丰富区(诸如三角洲地区)沉积颗粒更粗,而在物源供给较贫乏区(如湖湾或分流间湾区)沉积颗粒更细。同理,一个 T—R 旋回层序的顶、底界面也是这样一个客观存在物理界面,它们均以进积副层序组向退积副层序组转换面为界,是一个湖面升降旋回中的初始湖泛面,此界面之上沉积粒度明显变细。

基于上述原理,可应用这些界面进行地层的划分与高精度的等时储层对比。

2 湖平面升降旋回与杜家台油层油组、砂岩组的划分、对比

2.1 T—R 旋回与油组的划分

欢50块位于西部凹陷的西缘。沙四期沉积水体较浅,且靠近物源,因此沉积地层中对湖平面的波动反映敏感,尽管由于其面积较小,但高密度的井网能连续不断、高精度对储集砂体或高频旋回层序进行平面上的追踪和对比。因此,是应用湖平面升降旋回进行等时对比的有利区块。

由于杜家台油层属近源冲积成因,以及物源供给量在平面上的差异,因此,造成了区内不

同井地层的厚度、油组、砂岩组的发育程度也不同,给地层或储层的横向对比造成了很大的困难。本文通过上述湖平面升降旋回及其所形成的旋回层序界面及旋回层序内部构筑型式的特征,划分出4个 T—R 旋回层序及3个旋回层序界面(未包括杜家台油层的顶、底界面),自下而上命名为 I 层序、II 层序、III 层序及 IV 层序(图1)。

在对区内欢11井及7511井进行了旋回层序的划分及等时界面的标定后,对区内大致代表物源方向的纵剖面及垂直于物源方向的横剖面各作了一条进行了对比。结果表明,无论是纵剖面还是横剖面,这几个层序及界面可很好的追踪和对比(图2)。将已有的油组划分界面与现有的等时界面比较,存在明显的差异(图1)。但是,原有的油组划分是以区内分布比较稳定的3套泥岩作为标志的,即最底部的泥岩、III 油组顶部泥岩、II 油组顶部泥岩。这几套泥岩限定了3个油组,在某种意义上来说,这3套泥岩分别代表了3个湖平面相对上升时期,可作为地层等时对对比界面。但是,由于沉积物源及沉积剖面所处盆地的位置不同,每一层作为标志层的泥岩在平面上的厚度不同,也就是它们所代表的时间跨度不同,泥岩的顶、底界面则不是一个严格的等时界面(图3)。另一方面,由于一口井内泥岩夹层较多,因此,也难以保证这些泥岩在对比中不出现串时现象。因此,原来所划分的油组对比标志难以准确确定。

在一个油层之内,砂岩层的分布没有规律性。T—R 旋回层序所识别出的界面则是一个高精度的等时界面,可进行严格的等时对比,一个 T—R 旋回层序包括了一个油组,可分为两种砂岩组类型,即湖进期砂岩组与湖退期砂岩组。但是,主力油层基本上属于湖退期的砂体,这样,可以对油层在垂向上的物性变化(层厚、储集岩粒度、孔隙度、渗透性及含油饱和度)进行预测,即湖进期的砂岩组向上物性变差,而湖退期的砂岩组向上物性变好。

区内杜家台油层所划分的4个 T—R 旋回层序中,上、下两个旋回不全。第 I 旋回层序的下部 T 段应是下伏高升油层顶部的泥岩段,而上部的第 IV 旋回层序的 R 段也不全(图1)。

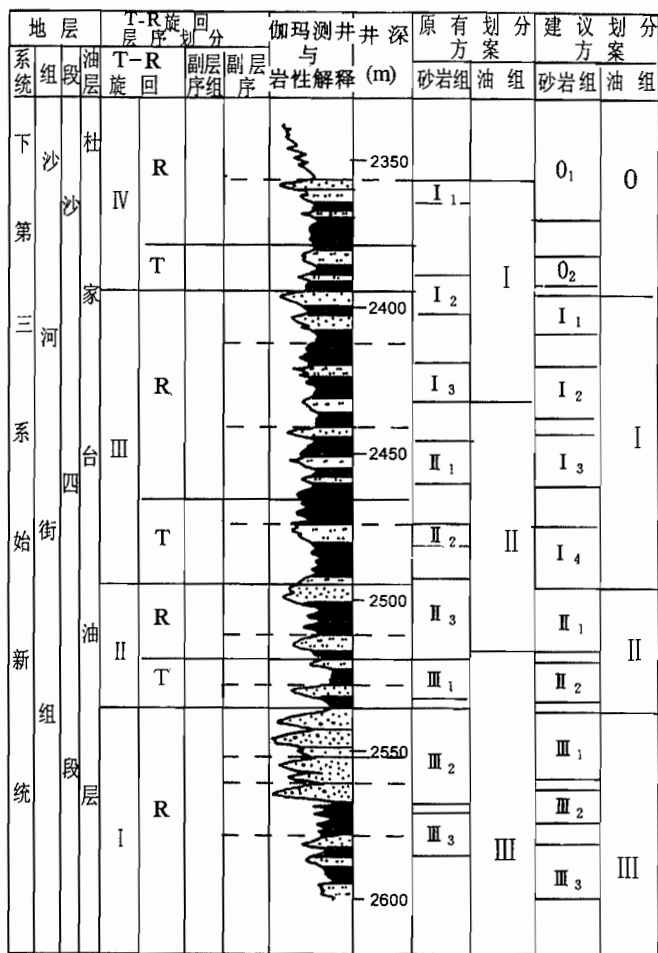


图1 欢50块7511井杜家台油层 T—R 旋回层序划分

Fig. 1 Division of T—R cyclical sequences of the Dujiatai oil zone, well 7511 in block Huan 50

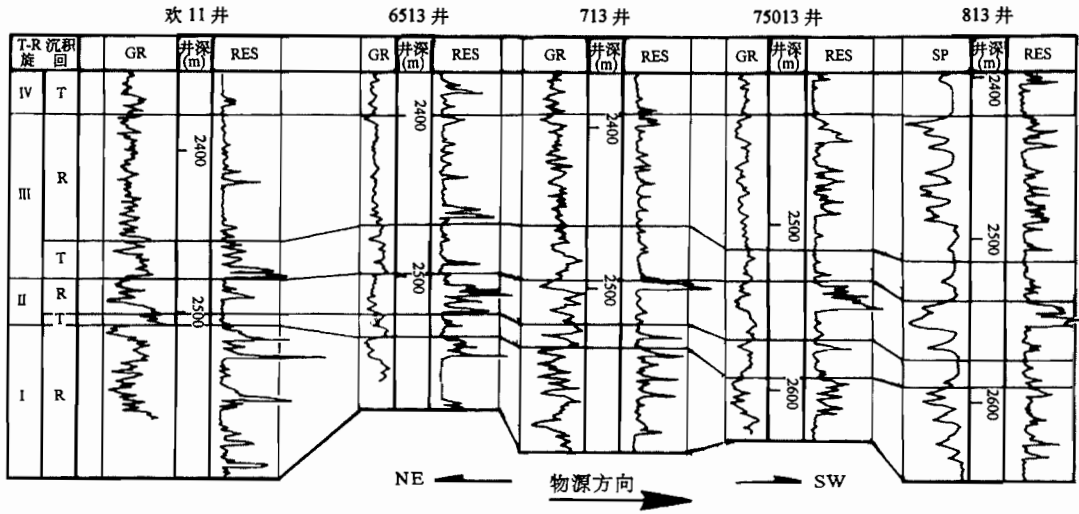


图2 欢50块杜家台油层欢11—813井 T—R 旋回层序的划分与对比(沿物源方向)

Fig. 2 Division and correlation of T—R cyclical sequences of Dujiatai oil zone from well Huan 11 to 813 in block Huan 50

这四个旋回层序之间厚度差异较大,其中,第Ⅲ层序厚度最大,一般厚100 m左右,最厚达120 m;第Ⅱ层序最薄,仅为50 m左右。厚度的变化除了与气候、基底沉降、沉积物源、沉积速率等因素有关外,更重要的因素还与旋回的周期长短有关^[10~12]。这种旋回的周期属米兰柯维奇气候旋回周期。按统一的全球旋回规模或周期级别,米兰柯维奇气候旋回主要属于四级(0.1~1 Ma)与五级(0.01~0.1 Ma)旋回。区内沙四段跨时约5 Ma,相当于全球三级旋回,在沙四段中又划分出两个亚段,杜家台油层与其下伏的高升油层位于沙四^上亚段中,因此,杜家台油层平均跨时应为1.25 Ma,相当于准三级旋回的沉积地层单元,其中所划分出4个 T—R 旋回层序(油组)则属四级旋回的范畴。

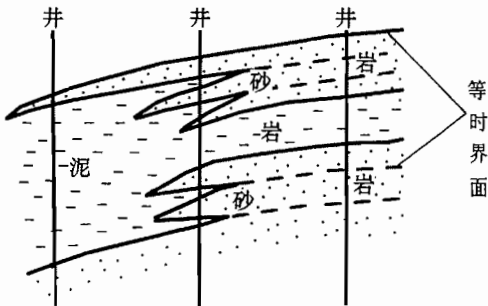


图3 不同沉积区湖进期泥岩分布与等时对比示意图

Fig. 3 Sketch map showing distribution and synchronous correlation for different sedimentary region during the lacustrine transgression

2.2 砂岩组的划分

在一个 T—R 旋回层序中,湖进体系域与湖退体系域是由不同型式的副层序组组成。依据湖平面升降变化与等时地层界面的原理,副层序的顶界面或副层序组的顶界面就是一个不同级别的等时界面。在井网密度较大的开发区块,有足够的资料使得我们对副层序组一级的等时界面在区内进行追踪和对比。在一个油组中,包括了一个或多个退积的副层序组,以及一个或

多个进积的副层序组,因此,完全可按照副层序组来进行砂岩组的划分,这样划分的砂岩组便于区内的对比(图1)。

2.3 油组的内部构成与物性变化特点

按 T—R 旋回层序所划分的油层,包括了两种类型的砂岩组,即反映湖平面上升的退积砂岩组及反映湖平面下降的进积型砂岩组。一个油组自下而上储层的物性变化则具有很强的规律性及成因关系。

油组下部的退积型砂岩组,砂岩厚度向上变薄,粒度向上变细,砂、泥比向上递减,物性及含油性向上变差,而油组上部的进积型砂岩组砂层厚度向上则变厚,粒度向上变粗,砂、泥比向上递增,物性及含油性向上变好。图4是7511井第 I、II 旋回层序中油组内部构成及储集物性的变化情况。

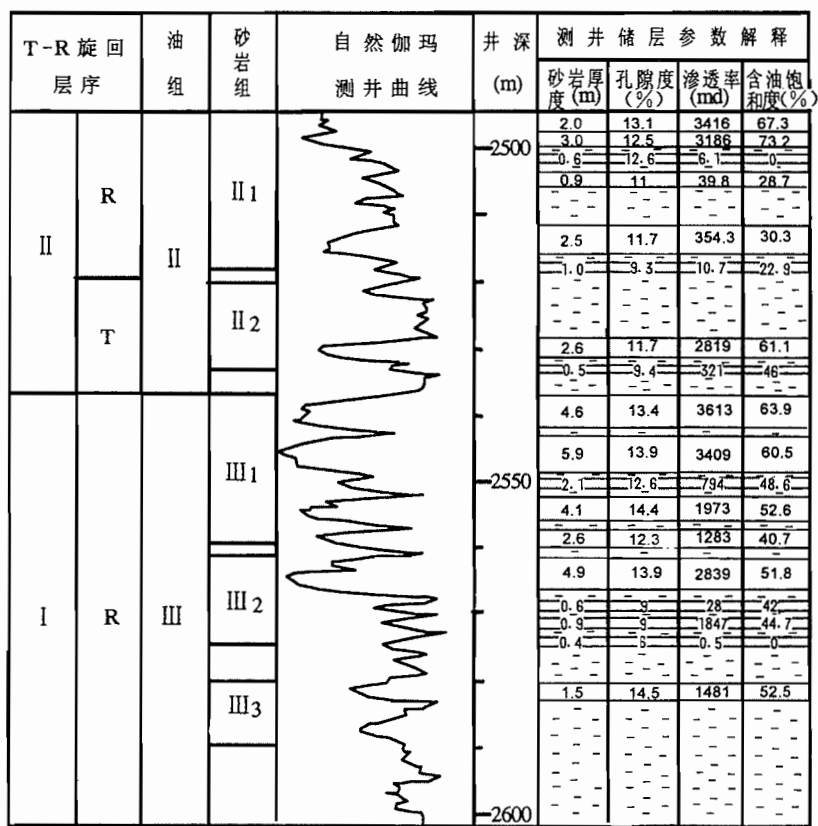


图4 7511井 I、II 层序油组内部构成及储集物性变化

Fig. 4 Interior constitution and reservoir physical property variety of oil series for sequence I and II in well 7511

3 研究意义

油田开发过程中储层的划分与对比是一项极其重要的地质工作,在对油组、甚至砂岩组的划分方案中应用了湖平面升降旋回这一原理,但是,划分的界面通常是以代表湖进期的泥岩层作为标准层来进行的。很显然,这一方法对于泥岩层的分布及厚度变化受物源区的影响,以及

高频湖平面变化过程中泥岩的多成因性及等时性考虑不足,在一个油组之中或一个砂岩组的内部缺乏储集岩体在沉积环境、空间展布、厚度变化、储层物性变化及含油性变化等方面的成因联系与规律性,不利于开发过程中开发层系的预测、开发方案的设计或调整。应用 T—R 旋回,油组的划分及砂岩组的划分可建立在严格的等时界面的基础之上,这些不同级别的等时界面均是一个客观存在的物理界面,可通过岩心、测井、地震资料进行识别、横向追踪与对比,实际操作方便,理论依据充分,尤其是在一个油组内,其内部构成及储集砂体的分布与物性和含油性分布规律性强。根据已识别出的几个重要的等时界面(T—R 的顶、底及 T、R 分界面),就可对储集砂体参数在垂向上的变化情况及含油性作出准确的预测和评价。例如,在一个退积的砂岩组内,开采层系应尽可能选择下部的砂岩层,而在一个进积的砂岩组内,则越往上砂岩层物性越好,含油饱和度可能越高。由此可见,这种储层砂体的划分与对比方案有利于开发方案的设计、油层开采及开发部署的调整。

参 考 文 献

- 1 盛和宜. 辽河断陷湖盆的扇三角洲沉积. 石油勘探与开发, 1993, 20(3): 60~66.
- 2 Duff P M D, Hallam A, Walton E K. Cyclic Sedimentation. Elsevier, Amsterdam, 1967. 1~280.
- 3 Vail P R, Mitchum R M Sr, Thompson S. Seismic stratigraphy and global changes of sea level. Part 3~4: global cycles of relative changes of sea level. In: Payton C E, ed. Seismic Stratigraphy——Applications to Hydrocarbon Exploration. AAPG Memoir, 1977, 26: 63~98.
- 4 Flemings P B, Jordan T E. A synthetic stratigraphic modeling of foreland basin development. J. Geophys. Res., 1989, 94 (b4): 3851~3866.
- 5 郭建华, 曾允孚, 翟永红, 高振中. 新疆塔中石炭系层序地层学研究——一个克拉通内坳陷盆地的层序地层框架模式. 地质学报, 1996, 70(4): 361~373.
- 6 Posamentir H W, Vail P R. Eustatic controls on clastic deposition: Sequence and systems tract models. In: Wilgus C K, et al., eds. Sea-level Changes: An Integrated Approach. SEPM. Spec. Publ., 1988, 42: 125~154.
- 7 Johnson J G, Gilbert K, Sandberg C A. Devonian eustatic fluctuations in Euramerica. Geological Society of America Bulletin, 1985, 96: 567~587.
- 8 郭建华, 郭成贤, 吴东胜, 翟永红, 刘生国. 东濮凹陷前梨园地区 ES³⁽³⁻⁴⁾亚段沉积旋回与沉积体系. 石油实验地质, 1996, 18(4): 377~384.
- 9 郭建华, 宫少波, 吴东胜. 陆相断陷湖盆 T—R 沉积旋回层序与研究实例. 沉积学报, 1998, 16(1): 1~10.
- 10 Hays J O, Imbrie J, Shackleton N J. Variations in the Earth's orbit; Pacemaker of the ice ages. Science, 1976, 194: 1121~1132.
- 11 Imbrie J, Imbrie J I. Modelling the climatic response to the orbital variations. Science, 1980, 207: 843~853.
- 12 Mitchum R M Jr, Van Wagoner J C. High-frequency sequences and their stacking patterns; Sequence-stratigraphic evidence of high-frequency eustatic cycles. Sedimentary Geology, 1991, 70: 131~160.

High-Frequency Lake-Level Rise and Fall Cycles and Correlation of Synchronous Reservoirs

——A Case Study of the Dujiatai Oil Zone of the Block Huan 50, Western Liaohe Depression

Guo Jianhua

(Jiangnan Petroleum Institute, Jingzhou, Hubei, 434102)

Abstract

The lake-level rise and fall cycles is the main factor controlling the distribution of reservoir rocks. Therefore, synchronous reservoir beds can be distinguished and correlated on the basis of

the actual depositional cycle boundaries. The western Liaohe depression belongs to a faulted lake basin. The cyclical depositional sequence framework of the basin, which is different from that of the passive continental-margin basin, can be described with the cycles of lacustrine transgression and regression (T-R). T-R cycles of different scales or different frequencies correspond to oil zones, oil series and sandstone series. An oil zone is roughly equivalent to a third-scale global cycle which results from the episodic tectonic activity. The oil series and sandstone series are respectively equivalent to the fourth- and fifth-scale global cycles which are ascribed to the Milankovitch cycle. The reservoir sandbodies including oil series and sandstone series distinguished by the T-R cycles have good regularities of lateral and vertical distribution. The regularities are of benefit to reservoir development.

Key words: faulted lake basin; cycle of lacustrine transgression and regression (T-R); oil series; sandstone series; western Liaohe depression

作者简介

郭建华,男,1957年生。1982年毕业于中南工业大学地质系,1996年获成都理工学院沉积理学博士学位。现为江汉石油学院地质系教授,中国地质大学(武汉)博士后流动站研究人员。主要从事沉积学、储层地质学以及层序地层学方面的教学与研究工作。通讯地址:434102,湖北省荆州市江汉石油学院地质系。
