

文章编号: 1000-0550(2003)02-0340-05

松辽盆地湖相泥岩地层有机碳分布特征及层序分析

杨玉峰^{1,2} 王占国¹ 张维琴¹

1 (大庆油田有限责任公司勘探开发研究院 黑龙江大庆 163712) 2 (中国石油勘探开发研究院 北京 100083)

摘要 松辽盆地湖相泥岩地层中有机碳呈有规律的分布。在纵向上,特定的地层沉积单元常显示出底部有机碳含量高而向上含量逐渐减小的变化趋势。这种变化规律与相对湖平面的升降及沉积物的供给有关,并且可以在电阻率和声波时差叠覆曲线上以不同程度的幅度差表现出来。根据这种叠覆的测井曲线对松辽盆地英台地区嫩江组泥岩地层中的有机质丰度以及地层层序进行了分析。英台地区嫩江组一、二段泥岩地层以嫩一段和嫩二段下部地层的有机质丰度较高。从泥岩层序对比及测井曲线幅度差分析,该时期英台地区沉积物来源于北部,其南部烃源岩有机质含量要高于北部。以嫩江组为主要烃源岩的黑帝庙油层的勘探也证实了这一点。

关键词 松辽盆地 源岩 有机碳 测井曲线 层序地层

第一作者简介 杨玉峰 男 1965年出生 高级工程师 博士 层序地层学及石油地质

中图分类号 TE122.13 文献标识码 A

湖相泥岩往往是陆相盆地最重要的烃源岩,但不是所有的湖相泥岩都可以作为烃源岩。只有当有机质达到一定丰度,且达到一定的成熟程度时才能大量生成油气。对湖相泥岩中有机质在纵横向上分布的研究,进而预测烃源岩的分布是油气勘探过程中一项很重要的工作。一般的做法是对地层中的泥岩样品进行取样分析,确定有机质的丰度。例如常利用总有机碳(TOC)、氯仿沥青“A”以及总烃等指标对烃源岩的丰度做出评价。但是,这样做受到样品分析数量的限制,有时也难于进行连续取样。

在泥岩地层中进行较细的地层划分对比往往是比较困难的,这是层序划分的难点之一,也是相对薄弱的环节^[1]。但这对于建立地层格架、恢复盆地发育史有重要的意义。因此,本文在湖相泥岩中有机质分布研究的基础之上,也对深湖、半深湖环境下层序的识别进行了一些探讨。

1 测井曲线对泥岩地层中有机质丰度的响应

Q. R. Passey^[2]曾于1990年提出了利用 $\Delta \log R$ 技术来评价烃源岩丰度,其原理是利用适当比例的声波时差和电阻率曲线叠合的幅度差来判断有机质的丰度。 Δ 代表幅度差, \log 代表声波曲线, R 代表电阻率。幅度差越大表明有机质的丰度越高,这是由于低密度(低速)的固体有机碳替换非有机质岩石基质的结果。泥岩中有机质的含量增高会增大岩石的电阻率。此外,有

机质转换成的烃类物质取代岩石孔隙中的水,这也将导致岩石电阻率的增大。有机质富集的层段声波时差值也相应地增大^[3]。因此,电阻率和声波时差曲线叠合后的幅度差的大小可间接地反映出泥岩地层中有机质丰度的大小。利用该方法可以在钻井中观察到总有机碳(TOC)在垂向上连续变化的情况。

2 松辽盆地湖相泥岩中总有机碳的分布规律

在识别和定量评价烃源岩的过程中发现,泥岩中的有机质在纵向上的分布常有一定的规律性即由一些底部TOC的值高,向上有机碳含量向上逐渐减小,直到或接近背景值。这些地层沉积单元(以下简称TOC单元)可以单独出现,但比较典型的是通常一个叠加在另一个之上。

图1为松辽盆地一口密闭取芯井泥岩层段有机碳的纵向变化特征,其地层中有机碳含量的变化就显示出上述特征,即有机碳含量的变化在纵向上由一系列类似直角三角形单元叠加而成。在每一个单元中,有机碳含量向上逐渐减小,直到或接近背景值。

上述有机质的分布模式主要受沉积物供给和湖(海)平面的升降或水体深度有关。当湖平面相对较高时,那么向盆地方向的沉积速率就相对较低,如果沉积物表面为水体较深的还原环境,那么将有利于有机质的保存,因此有机碳的含量将会很高。随着沉积物向盆内的进积作用的发生,局部沉积速率增大使沉积物中

有机质的含量起到了稀释作用,因此有机碳的含量也随着减少(图 2A)。当可容空间迅速增大时,导致沉积物供给不足而使有机碳含量迅速增加(图 2B),图 5 在时间 5~6 时期,快速增加的可容空间导致有机碳含量的增加,从而形成第二个三角形单元。

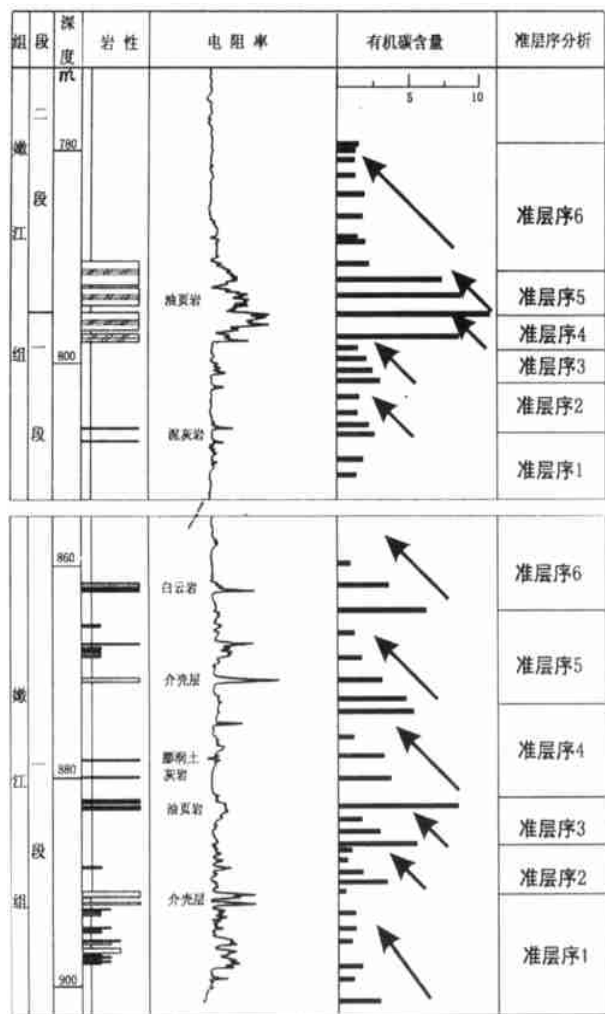


图 1 杏 1-32 井嫩江组地层中有机碳分布规律与层序分析

Fig. 1 Organic carbon distribution patterns and sequences of well Xin1-32 in Nenjiang Formation

众所周知,泥岩中有机质的含量取决于沉积相带,而沉积相带的发育又取决于沉积物的供给和可容空间相对变化量。因此,泥岩中有机质的分布在平面上也有一定的分布规律。在盆地的不同部位有机质的丰度以及纵向分布的厚度都有一定的差别。图 3 为一说明富有机质岩石在地层中的分布规律的模式图。在位置①处也就是远离沉积物源的盆地位置,从时间 A 到时间 F 地层中连续缺乏粗碎屑沉积物,整个层序的 $\Delta \log R$ 都存在幅度差。幅度差的最大值出现在最大洪水期。在靠近盆地边缘或物源区的位置②和位置③,富有机质

源岩的分布有很大的不同。由于靠近物源区,大量碎屑物的输入常不能形成有利于 TOC 保存的饥饿环境。在位置③处只有当在最大洪水期才有可能形成富含有机质的单元。

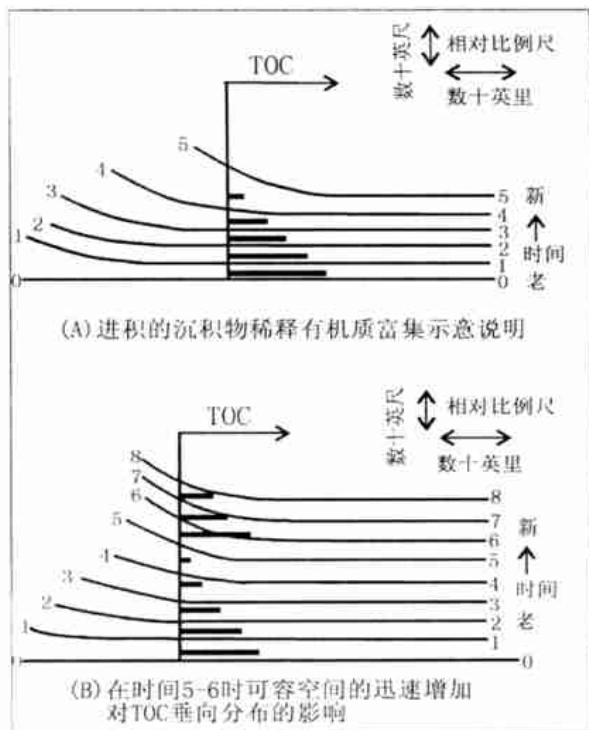


图 2 有机质在纵向上富集示意图

(据 Stephen Craney and Passey Q. R, 1993)

Fig. 2 A schematic illustration of organic carbon accumulation (after Stephen Creaney and Passey Q. R, 1993)

图 4 为松辽盆地西部英台地区嫩江组一、二段地层的 $\Delta \log R$ 曲线地层对比图,从图中可以看出在英 201 井和英 14 井处幅度差不明显,而在英 32 井和英 83 井处幅度差呈连续状态,说明有机质丰度高,该时期沉积物源应该来源于盆地北部,这与沉积体系分析结果相一致。嫩一二段做为黑帝庙油层(对应于嫩三四段地层)的烃源岩之一,其位于英 14 井以南南部地区应该好于以北地区,现今的勘探实际情况也证实了这一点,即现今发现的黑帝庙油气层主要分布在盆地南部,如葡萄花南部地区、新站地区等。

3 有机碳变化规律所反映出的层序地层信息

既然有机碳的纵向分布规律与湖(海)平面升降、沉积物的供应有关,那么在用测井曲线确定有机碳的同时,也可用其方法来分析层序。众所周知,松辽盆地萨、葡、高中部含油组合的沉积体系,主要呈半环带状展布,不同时期形成的三角洲砂体主要来自盆地北部和西部物源,向盆地中部逐渐过渡为浅湖、半深湖和深

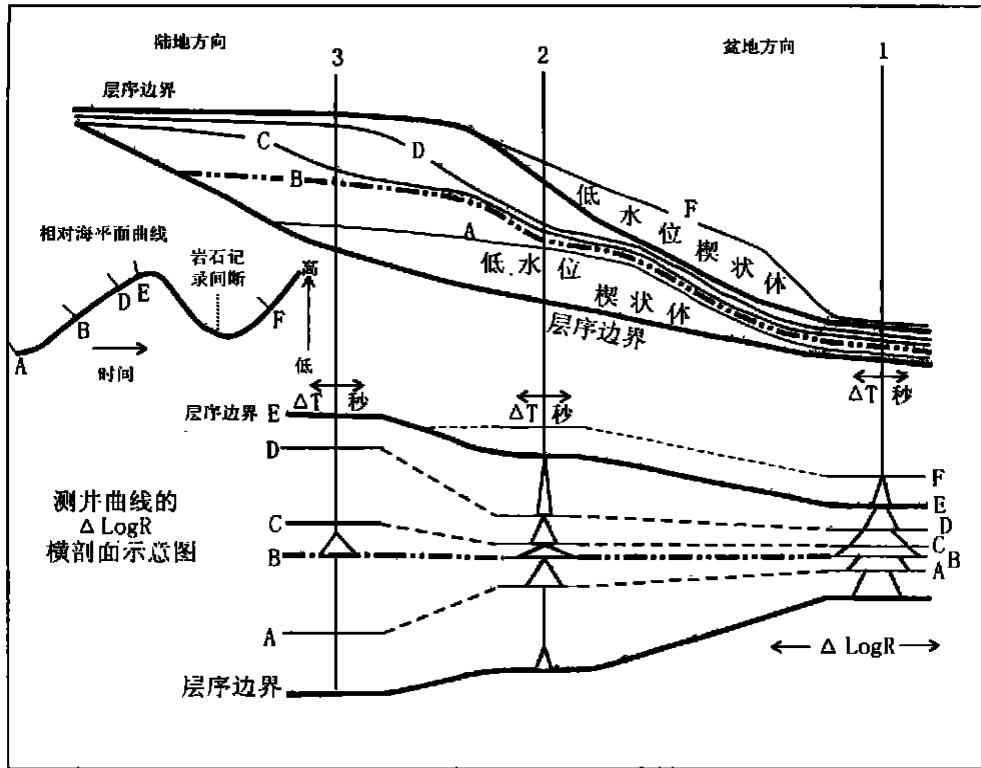


图 3 地层序列中富有机质岩石的地层分布模式 (据 Stephen Creaney and Passey Q. R, 1993)

Fig. 3 Hypothetical succession illustrating the stratigraphic distribution of organic rich rocks (after Stephen Creaney and Passey Q. R, 1993)

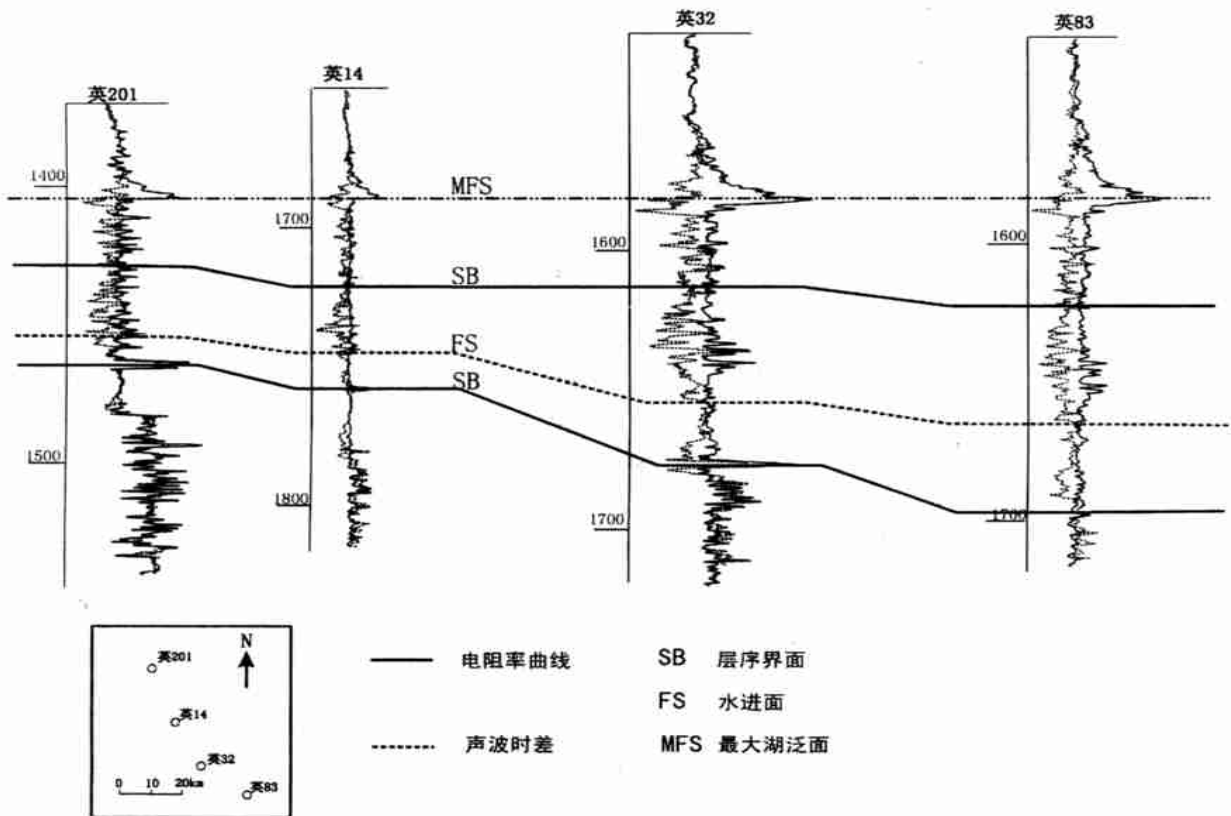


图 4 英台地区 $\Delta \log R$ 曲线对比图

Fig. 4 Correlation based on $\Delta \log R$ curves in Yingtai area

湖相 三角洲前缘相的分布位置在各个沉积时期相对稳定,因此,三角洲砂体层序在向湖盆延伸的过程中与湖相泥岩层序之间的对比是很困难的,但是这又是很重要的一项工作,它对于恢复盆地的沉积史以及寻找湖相泥岩中浊积砂岩岩性油藏等均具有重要的实际意义。经研究,松辽盆地浊积砂岩体主要发育在青山口组和嫩江组的低水位期和高水位晚期^[4]。因此,确定泥岩地层所处的体系域阶段对于预测浊积砂岩体有一定的指导意义。

实际上每个 TOC 单元代表着一次水深变化过程,而 TOC 单元的底部突变恰代表了水体突然变深的过程,与准层序界面的水体变化十分相似。准层序都以湖泛面为界,界面之上水体突然加深,因此,底部突变的 TOC 单元的底部对应的界面应该为一个准层序的界面,而一个单一的 TOC 单元就应该对应于一个准层序(图 1)

在滨浅湖及三角洲前缘相带,水深的变化可以被岩性反映出来,因此准层序的识别相对容易一些。但是,在半深湖、深湖环境下水深的变化一般在岩性上很

难反映出来。在这种情况下利用声波时差和电阻率曲线叠合的方法来进行层序分析,可以初步解决在泥岩中进行层序划分难这一问题。

在实际应用过程中很难有单个的、规则的 TOC 单元出现,更多的情况是由多个 TOC 单元叠加而成的连续的、不规则曲线幅度差(图 4)

以嫩二段底部的钟形电阻率曲线最为典型,实际上嫩二段的底部是整个松辽盆地发育过程中的一个最大湖泛面。该时期松辽盆地的湖平面达到了最大位置。

4 松辽盆地湖相泥岩层序分析

深湖、半深湖相泥岩层序的划分是目前层序地层学研究中比较薄弱但又是很重要的一项工作。浅水环境下,在水体由深变浅的过程中,在沉积岩的岩性、颜色、层理构造等方面均有显示。但在深水环境中,这些标志对水体深度小范围的变动反应不灵敏。微量元素铁、锰和钴等对水体的深度有一定的反应^[1],但是,这些微量元素的分析资料往往很少。因此,在深湖、半深

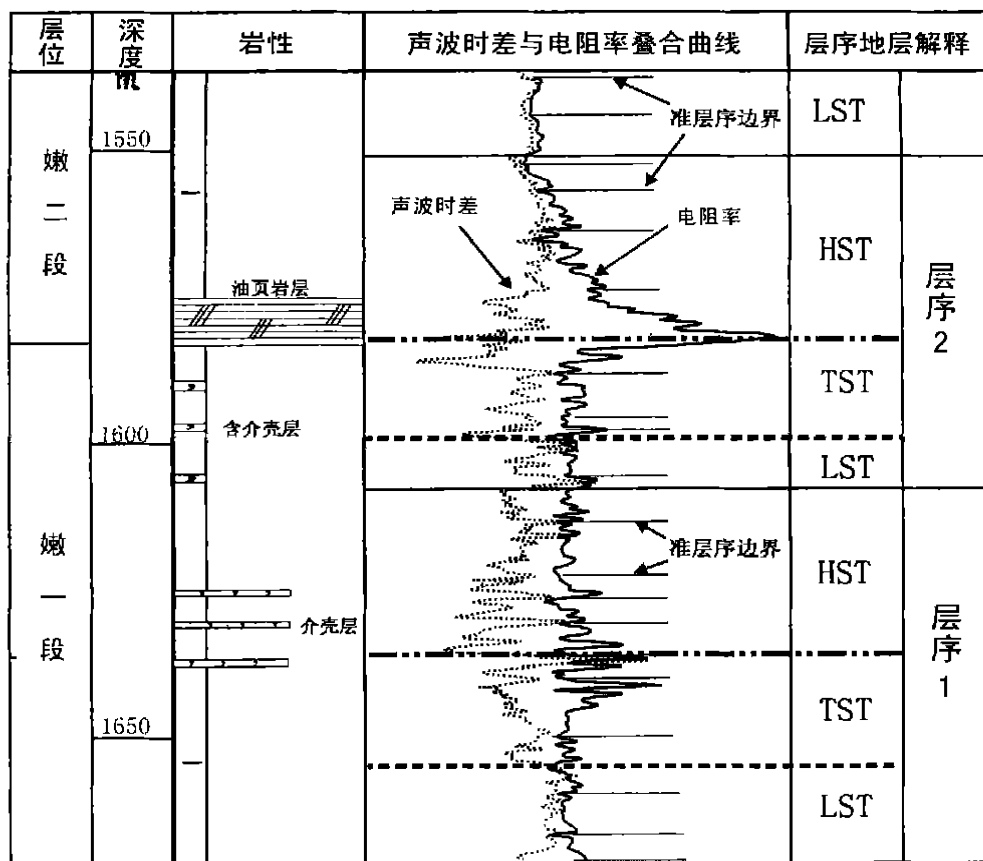


图 5 英 32 嫩江组深湖泥岩层序分析图

Fig. 5 Deep lacustrine mudstone sequence analysis of well Ying 32 for Nenjiang Formation

① 杨玉峰, 松辽盆地岩性圈闭带形成条件与分布规律研究, 2000

湖环境下,低幅度的湖平面升降在沉积的岩性中不能反映出来,而用微量元素、有机碳等分析手段来划分又受样品分析的限制。在这种情况下,可参考前面所介绍的电阻率曲线和声波时差叠合 $\Delta \log R$ 技术并结合其它资料来进行深水环境下的层序划分。

松辽盆地湖相环境条件下,介壳类生物十分发育。常在泥岩地层中发现有介壳层,其在测井曲线上显示出较高电阻率特征。经岩芯观察,介壳层主要由介形虫碎片组成,表明湖浪的改造作用较强,水体较浅。另外,在页岩地层中常发现沿页理层状分布的叶肢介化石,说明叶肢介生活的环境相对于介形虫来说水体较深。因此,在有岩芯资料的情况下可以参考古生物的资料。

以盆地西部英 32 井嫩江组一段和嫩二段下部为例(图 5)。姚家组到嫩江组地层序列总体上是一个完整的沉积旋回,即水体由浅变深又变浅。其中嫩一、二段主要为泥岩沉积,是水体较深时期形成的。时间跨度大约在 2~3 Ma 左右。根据 $\Delta \log R$ 曲线幅度变化以及泥岩中介壳层的分布,可把嫩江组一段以及嫩二段下部划分为两个层序。从所经历的地质时间来分析,它们应该属于三级层序^[5]。

根据图 4 地层中有机质的分布模式, $\Delta \log R$ 幅度差最大处应该是层序的最大湖泛面。层序 1 低水位(LST)时期 $\Delta \log R$ 幅度差变化较小,底部稍大。水进期(TST) $\Delta \log R$ 幅度差逐渐变大,说明湖平面逐渐上升,水体变深,大约在 1 635 m 时 $\Delta \log R$ 幅度差达到最大,是层序 1 的最大湖泛面。之后,湖平面总体上呈下降趋势(层序 1 的高水位时期, HST) $\Delta \log R$ 幅度差逐渐减小。大约在 1 608 m 左右,水体变的较浅,可做为层序 1 的顶界。层序 2 在 1 575~1 585 m 发育了厚约 10 m 的油页岩层,其 $\Delta \log R$ 幅度差是整个嫩一、二段

地层中最大的,是层序 2 的最大湖泛面。实际上,这一时期也是松辽盆地湖泊发育历史上的最大一次湖泛时期。除了油页岩层外,介壳层和含介壳层也反应出了湖盆水体的波动。结合 $\Delta \log R$ 幅度差,每个层序又可划分为若干个准层序(图 5)。

从烃源岩评价的角度来分析,1 550~1 650 m 井段由于 $\Delta \log R$ 幅度差较大,有机质的丰度应该较高。因此,这一层段如果进入生油门限,那么就有可能生成大量的油气,应该是很好的烃源岩层。

参考文献 (References)

- 1 纪友亮,张世奇编著. 陆相断陷湖盆层序地层学 [M]. 北京:石油工业出版社, 1996 [Ji Youliang, Zhang Shiqi eds. Sequence stratigraphy of fault-depression lacustrine basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996]
- 2 Passey Q R, Creaney S, Kulla J B. A practical model for organic richness from porosity and resistivity logs [J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(5): 1 777~ 1 794
- 3 Stephen Creaney and Passey Q R. Recurring patterns of total organic carbon and source rock quality within a sequence stratigraphic framework [J]. AAPG Bulletin, 1993, 77(3): 386~ 401
- 4 何起祥,刘招君,王东坡等. 湖泊相浊积岩的主要特征及其地质意义 [J]. 沉积学报, 1984, 2(4): 33~ 46 [He Qixiang, Liu Zhaojun, Wang Dongpo, et al. Characteristic and geological bearing of lacustrine turbidite [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1984, 2(4): 33~ 46]
- 5 王鸿祯,史晓颖. 沉积层序及海平面旋回的分类级别—旋回周期的成因讨论 [J]. 现代地质, 1998, 12(1): 1~ 16 [Wang Hongzhen, Shi Xiaoyin. Classification order of sedimentation sequence and sea level cycle—A genesis discussion of cycle or periodicity [J]. Modern Geology, 1998, 12(1): 1~ 16]

The Pattern of Total Organic Carbon and Sequences within Mudstone Formation, Songliao Basin

YANG Yu-feng^{1,2} WANG Zhan-guo¹ ZHANG Wei-qin¹

1 (Exploration and Development Research Institute of Daqing Oil Field Company Ltd., Daqing Heilongjiang 163712)

2 (Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Petro China, Beijing 100083)

Abstract The total organic carbon (TOC) of the mudstone formation in Songliao basin shows a regular distribution. Vertically, the high TOC value usually appears at base and decreases upwards in a given sediment unit. The regular change of TOC value as this is related to relative lake level change and sediment supply, and can be identified from the overlay log curves of sonic and resistance. Based on this method, it has been analyzed that the abundant of organic carbon and sequences of Nenjiang mudstone formation in Yingtai area, Songliao basin. The study show that the high content organic carbon appears at lower part of Nenjiang Formation, and the direction of sediment supply is from north to south. The content of organic carbon in source rock is higher in the south than north. Oil and gas exploration practice has proven that those results are true.

Key words Songliao basin, source rock, organic carbon, logging curves, sequence stratigraphy