

文章编号: 1000-0550(2004)02-0319-06

# 层序格架中用地球化学录井资料评价烃源岩的方法

何志平<sup>1,2</sup> 康永尚<sup>2,3</sup> 邵龙义<sup>1</sup> 伊哲<sup>4</sup> 齐雪峰<sup>5</sup>

1(中国矿业大学(北京校区)资源与地球科学系 北京 100083) 2(石油大学天然气成藏机理教育部重点实验室 北京 102249)

3(石油大学资源与信息学院 北京 102249) 4(中原油田公司石油勘探开发研究院 河南濮阳 457001)

5(新疆油田公司石油勘探开发研究院 新疆克拉玛依 834000)

**摘要** 在综述前人对海相盆地和陆相盆地烃源岩分布与层序地层格架关系研究的基础上,介绍了露头、地球物理资料层序地层研究与地球化学录井资料的有机质丰度评价相结合进行烃源岩评价的方法及步骤。并通过在准噶尔盆地侏罗系烃源岩评价中的具体应用,较为客观地说明了准噶尔盆地侏罗系烃源岩在纵、横向上的分布。实践证明该方法是行之有效的。

**关键字** 地球化学录井资料 层序地层学 烃源岩评价 侏罗系 准噶尔盆地

**第一作者简介** 何志平 男 1973 年出生 在读博士 沉积学 层序地层学

**中图分类号** P539.2 **文献标识码** A

## 1 引言

层序地层学理论起源于国外的被动大陆边缘地层的研究,后经人们不断发展与完善,使其得到更为广泛的应用。由于层序地层学较强的预测性,烃源岩研究成为层序地层学的重要应用之一。这种应用主要是在建立不同级别等时地层单元与地层格架的基础上,结合有限的岩样分析化验数据研究,识别出沉积密集段,进而确定烃源岩的发育层位及其平面展布<sup>[1~3]</sup>。这种方法由于所用的分析化验资料受取心的限制,往往数据点的位置分布较为局限,且数据点的数量有限,并不能全面评价整个钻井剖面上的烃源岩,导致在获取烃源岩的厚度及其平面展布时显得较为机械而不客观。地球化学录井数据是通过录井岩屑进行热解分析直接获得的,能够较为客观地反映有机质丰度在层序格架内的相对变化。若将露头、地球物理资料层序地层分析成果与地球化学录井数据所反映的层序内有机质丰度变化有机结合,就可以较为客观地获取烃源岩的纵、横向展布。

## 2 海相盆地层序格架中的凝缩段与烃源岩发育的关系

S. Creaney 等<sup>[4~7]</sup>用层序地层学的理论框架解释了在海相源岩中 TOC 在垂向上的旋回性变化。认为控制有机碳聚积的主要因素有两个: 沉积物/水接触

界面为缺氧环境; 沉积速率。在沉积物/水接触界面为缺氧的环境中,TOC 与陆源碎屑注入量成反比关系。即如果可容空间大,在靠盆地中心位置陆源碎屑物质注入少,有利于该点有机质的聚集。在某一通过单一海相层序的剖面中表现为 TOC 的峰值与最大海泛面相对应。在海泛面之上,由于高水位进积时大量陆源碎屑的快速注入不利于有机质的保存,致使 TOC 由下向上减小;而在该面之下,由于海侵体系域水体逐渐加深,沉积速率逐渐降低,沉积环境变得有利于有机质的聚集,相应地 TOC 值由下向上增加(图 1)。因此,若沉积速率较低,TOC 值就很高;若沉积速率增大,

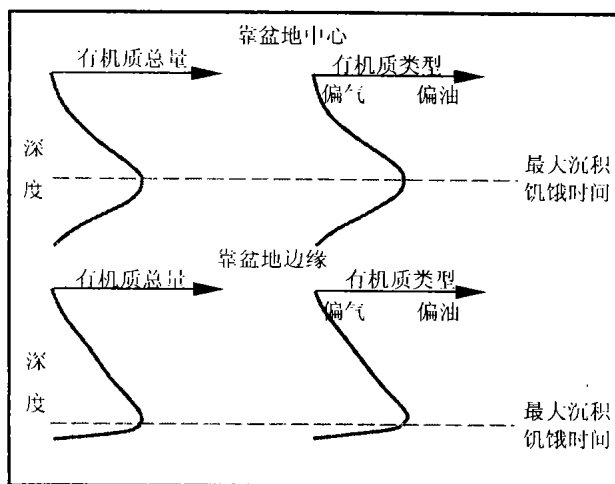


图 1 海相盆地中和陆架上的有机质类型和丰度的垂向分布<sup>[4]</sup>

Fig. 1 Vertical distribution of type and richness of organic matter in marine basin and on the shelf

新疆油田公司与石油大学的合作项目“准噶尔盆地侏罗系层序地层和油气成藏规律研究”的部分成果,同时受国家 973 项目(编号: G19990433)资助。

TOC 的值将随之减小。通过对阿拉斯加海相 TOROK 源岩和加拿大 Beaufort - Mackenzie 盆地中白垩系 Creek 组源岩的研究指出,在海相沉积层序中,在盆地中部(图 2 中的位置)与同时期陆架位置(图 2 中的位置)的源岩相比,其源岩开始聚积时间较早,持续时间最长,在两个位置中,TOC 的最大值均出现在最大海泛期。而富有机质海相易生油泥岩的厚度及其富集程度取决于它们沉积时的岩相古地理位置。这些富有机质海相易生油泥岩常在密集段中较发育。这种沉积密集段以非常低的沉积速率为特征的,向上是变粗的高水位沉积,其下是向上变细的海侵沉积,平面展布上常作为一个薄的沉积单元,从盆地伸展到陆架展布(见图 2,图中的  $\log R$  为应用适当比例尺的声波时差和电阻率曲线叠合时两条曲线的幅度差。在未成熟源岩中,两条曲线分离的原因是因为低密度(和低速)的固体有机碳交代非有机岩基质造成的;当源岩成熟时,开始生成的烃类将取代岩石孔隙中的水,这将导致岩石电阻率的增加,因此,曲线之间的幅度差可反映总有机碳 TOC 值的变化,幅度差越大总有机碳 TOC 值就越高)。

### 3 我国陆相盆地层序格架中的凝缩段与烃源岩发育的关系

海相盆地中烃源岩发育的有利层段主要对应于沉积密集段,即最大湖泛面上下的沉积,对陆相盆地烃源岩在层序格架中发育的有利层位问题,不少学者进行了探讨。

杨剑萍等<sup>[8]</sup>在探讨惠民凹陷下第三系湖相沉积密集段及烃源岩分布时指出,在断陷盆地中,在盆地演化不同阶段形成的不同类型层序中,沉积密集段类型并不相同,其在层序中所处位置也并不一样,而且不同类型沉积密集段控制着不同的生油岩层厚度。盆地断陷初期发育第 1 层序,形成的沉积密集段位于高水位体系域的下部,对应于沙四上亚段和沙三下亚段的底部地层,分布范围有限,沉积厚度较薄;盆地强断陷期发育第 2 层序,形成的沉积密集段位于高水位体系域的下部和湖侵体系域,对应于沙三中亚段和沙三上亚段的底部,分布面积广,沉积厚度大;盆地断陷后期发育第 3 层序,形成的沉积密集段位于湖侵体系域,对应于沙二下亚段地层,分布面积广,沉积厚度较薄。并解释出现这种现象的原因在于:陆相湖盆同海盆不同,湖盆面积较小,多物源,湖平面变化的控制因素复杂。

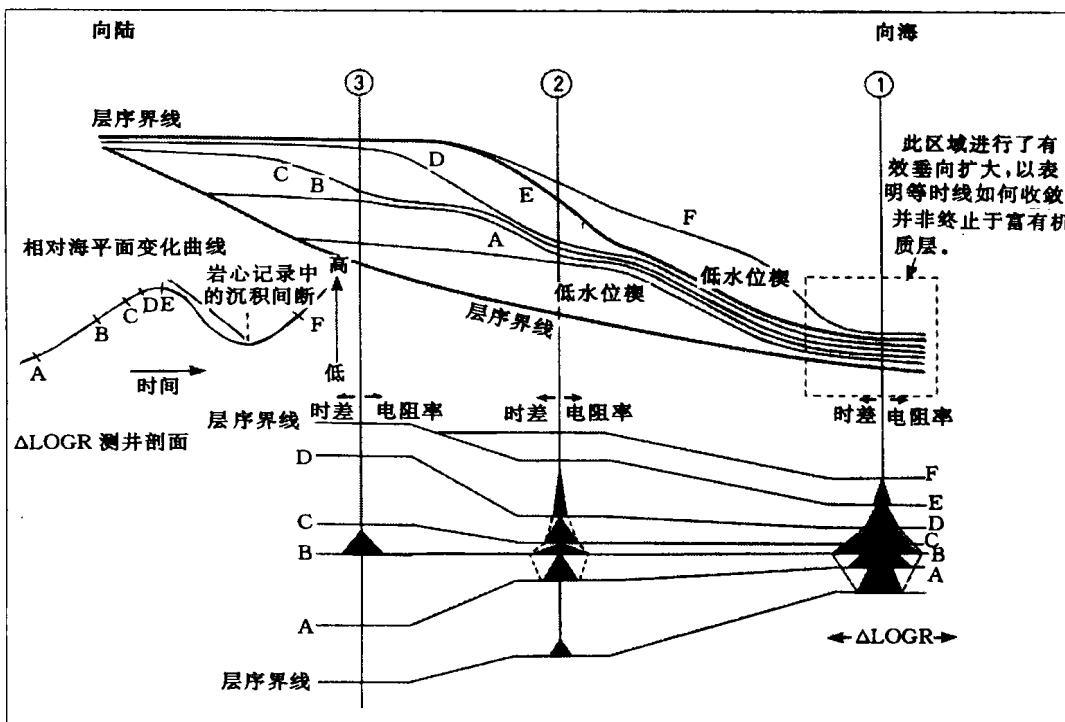


图 2 富有机质岩石在地层中分布的理想模式<sup>[4]</sup>

(还原沉积/水条件分布于进积体的底界面,有机质丰度用  $\log R$ )

Fig. 2 Ideal distribution model of rock with rich organic matter in the strata reduced condition of the sediment/ water surface locates at the bottom of progradational body, and organic matter richness is scaled by  $\log R$

尤其是惠民凹陷下第三系沙四段地层缺少海相生物化石,且只有局部地区见少量膏盐,表现出与渤海湾盆地其它拗(凹)陷不同的发育特点。在湖盆的不同发育阶段,层序的演化并不相同,在断陷湖盆初期,低水位体系域发育,而湖侵体系域、高水位体系域和下降体系域都不发育。在断陷湖盆发育期及消亡期,低水位体系域和湖侵体系域不发育,而高水位体系域和下降体系域则相对比较发育。

杨建业等<sup>[9]</sup>对吐哈盆地台北凹陷及准噶尔盆地南缘西山窑组煤系的沉积有机相在陆相层序的格架中的分布特征进行了探讨。研究表明,一般情况下,各类沉积有机相在层序地层格架纵向上以湖侵体系域为中心对称分布,生烃能力最强的烃源岩出自湖湾-半深湖有机相,其位置一般出现在湖侵体系域中部,向上向下,烃源岩生烃能力依次变差。

刘洛夫等<sup>[10]</sup>用露头 and 井下取到的岩样分析结果,对准噶尔盆地侏罗系层序地层格架中的烃源岩进行了详细的研究指出,在一个层序中,凝缩段(即沉积密集段)的有机碳丰度明显高于湖进体系域段和高位体系域段,即凝缩段有利于烃类的生成。

从上述开阔海盆和中国陆相盆地的层序地层中烃源岩分布的研究情况看,由于陆相盆地湖盆面积小、多物源以及控制湖平面变化因素的复杂性等原因,陆相盆地与海相开阔盆地相比,烃源岩在层序格架内纵向分布的具体位置有些差别。对于中国陆相湖盆来说,东部断陷湖盆在不同演化阶段,沉积密集段可分布于高位体系域下部,也可分布于湖侵体系域,而西部盆地,则主要分布于湖侵体系域,即陆相湖盆由于盆地类型及其演化阶段不同,使得有利的烃源岩在层序内的纵向分布位置复杂化。因此,仅依据层序格架和有限的分析化验数据难以准确确定层序格架内有利烃源岩的纵向分布位置和厚度,正是为了解决陆相盆地中烃源岩在层序格架内的分布,我们提出在层序格架中用地球化学录井资料进行烃源岩评价的方法。

## 4 层序格架中用地球化学录井资料进行烃源岩评价的方法

利用连续取样的地球化学录井资料,可以确定出纵向上有机质丰度较高的层段。将其与层序地层划分格架相结合,可从层序格架中地层单元分布理论模式和有机质丰度的相对变化两个方面确定层序格架中有利烃源岩纵向发育的位置及其厚度。为此,进行烃源岩评价时,首先在建立层序格架基础上,结合地球化学录井资料所反映的有机质丰度在纵向上的相对变化,获取单井层序格架内烃源岩纵向分布位置和厚度,然后将其扩大

到多口井,再利用层序格架中地层单元展布模式,获取烃源岩在平面上的展布。具体操作步骤如下:

### (1) 层序地层格架的建立

根据露头、钻井和地震资料的相互标定,合理划分层序和确定最大湖泛面的位置。

### (2) 烃源层在层序格架中的分布位置确定

烃源层在层序格架中的分布位置主要是通过层序地层划分和有机质丰度纵向变化相结合来确定的。通常情况下,用露头及地球物理资料确定的最大湖泛面也存在不确定性,地球化学录井资料反映的有机质丰度变化也有多个峰值。因此,两者相结合,不仅可以较容易地确定一个层序中烃源岩发育的有利层段,同时也可对层序划分时所确定的最大湖泛面的位置予以佐证。

### (3) 利用单井地球化学录井资料求取单井烃源岩厚度

在进行单井烃源岩厚度求取时,先用岩样分析数据对地球化学录井数据进行一定的校正,再用烃源岩划分标准来卡取烃源岩厚度。

### (4) 无地球化学录井资料单井烃源岩厚度的求取

由于具有地球化学录井资料的井数量毕竟有限,为了增加平面上的控制点,可以利用具有地球化学录井资料的井,建立最大湖泛面上发育的泥岩厚度和符合有机质丰度标准的泥岩厚度的回归关系式,把这一关系式用于无地球化学录井资料单井烃源岩厚度的求取。

### (5) 平面成图

根据以上各步所得到的单井烃源岩厚度,结合露头及地球物理资料层序地层研究绘制的层序、体系域等厚图、沉积相图及其它图件,编制烃源岩平面分布图。

## 5 应用实例

在准噶尔盆地侏罗系烃源岩研究中,我们首先在建立层序地层格架的基础上,分析有机质丰度纵向变化与沉积层序的演化关系,确定优质烃源岩在纵向上的分布位置。然后,获取有地球化学资料的井的烃源岩厚度,建立最大湖泛面附近发育的泥岩厚度和符合有机质丰度标准的泥岩厚度的回归关系式。通过该关系式求取无地球化学录井资料的井的烃源岩厚度。从而从点见面获得侏罗系各层序烃源岩在平面上的展布。

### (1) 侏罗系层序地层划分

利用地震、钻井和露头三种资料的综合分析,把准噶尔盆地侏罗系划分为2个超层序( $J_{1-2}SS_1$ 、 $J_{2-3}SS_2$ )、7个层序( $J_1S_1$  -  $J_3S_7$ )、15个体系域。其中第一超层序由、、、、层序组成,相当于地质分层中的中下侏罗统水西沟群,包括八道湾组、三工河组及西山窑组;

第二超层序由 、 、 层序组成,相当于中上侏罗统的石树沟群,包括头屯河组、齐古组及喀拉扎组(表1)。

(2) 烃源层纵向分布位置的确定

图3是准噶尔盆地XY4井侏罗系下部三个层序地球化学录井数据有机碳、生烃潜力和氢指数三项参数的纵向分布。为了避免由于储层内含有油气而表现出的高有机质丰度,制图时,将泥岩层的数据单独提取出来作图。因此,它反映的是层序内泥岩层有机质丰度的变化。

可以看出侏罗系四个层序中, 、 、 层序体系发育较全,这三个层序中都有有机质丰度相对高值区,但其分布位置有所差别, 层序的有机质高丰度段主要分布在最大湖泛面之下靠近最大湖泛面的位置,为湖泊相暗色泥岩,另一个是高位域中部,为三角洲前缘沉积; 层序从有机碳和生烃潜力两个指标看,在最大湖泛面上下有一个有机质丰度高值区,同时受煤层的影响,在初次湖泛面附近(即低位域顶界)也形成了一个有机质丰度高值区,而且有机质丰度还比最大湖

泛面附近的泥岩高,但从氢指数看,该层序内有机质丰度最大值分布在最大湖泛面附近,因此在最大湖泛面附近发育的暗色泥岩才是真正的优质烃源岩; 层序有机质丰度的分布规律非常明显,除在初次湖泛面附近形成一个很小的峰外,高有机质丰度主体还是发育在最大湖泛面附近(图3)。

(3) 侏罗系烃源岩在平面上的展布

在准噶尔盆地40多口有地球化学录井资料的井的烃源岩厚度卡取基础上,建立了最大湖泛面附近发育的泥岩厚度和符合有机质丰度标准的泥岩厚度的关系。对于无地球化学录井资料的井,首先进行层序地层的分析,再通过此关系获得无地球化学录井资料的井的烃源岩厚度。结合准噶尔盆地侏罗系层序地层研究的其它成果,获得了侏罗系 层序、 层序和 层序发育的烃源岩在平面上的展布。图4是侏罗系 层序烃源岩厚度分布图,从中可看出烃源岩厚度分布范围为4~130m,石英滩凸起、英西凹陷、玛湖凹陷以西、西北部以及东部帐北断褶带及其以东厚度较薄;向盆地中央逐渐加厚,陆南凸起、石南凹陷厚度40~60m,石西

表1 准噶尔盆地侏罗系层序地层划分方案

Table 1 Division of Jurassic sequence in Jungar basin

传统地层方案				层序地层方案				不整合面	地震反射	
地面		井下		二级层序	层序	体系域				
群	组	段	段							
吐谷鲁群									T <sub>11</sub>	
石树沟群	J <sub>3k</sub>			J <sub>2-3</sub> SS <sub>2</sub>	J <sub>3</sub> S <sub>7</sub>					
	J <sub>3q</sub>				J <sub>3</sub> S <sub>2</sub>					
水西沟群	J <sub>2t</sub>	上段		J <sub>1-2</sub> SS <sub>1</sub>	J <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	高位域	不同地区体系域发育程度不同		T <sub>4</sub>	
		下段				高位域				
	J <sub>2x</sub>		J <sub>2x1</sub>		J <sub>2</sub> S <sub>4</sub>	高位域				
			J <sub>2x2</sub>			水进域				
			J <sub>2x3</sub>			低位域				
			J <sub>2x4</sub>			高位域				
	J <sub>1s</sub>	上段	J <sub>1s1</sub>		J <sub>1-2</sub> S <sub>3</sub>	水进域			T <sub>3</sub>	
			J <sub>1s2</sub> <sup>1</sup>			高位域				
		下段	J <sub>1s2</sub> <sup>2</sup>			水进域				T <sub>2</sub>
			J <sub>1s3</sub>			高位域				
	J <sub>1b</sub>	上段	J <sub>1b1</sub>		J <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	水进域			局部不整合	
			J <sub>1b2</sub> <sup>1</sup>			低位域				
J <sub>1b2</sub> <sup>2</sup>			高位域							
中段		J <sub>1b2</sub>	水进域	T <sub>2</sub>						
下段		J <sub>1b3</sub>	低位域							
小泉沟群							区域不整合	T <sub>1</sub>		

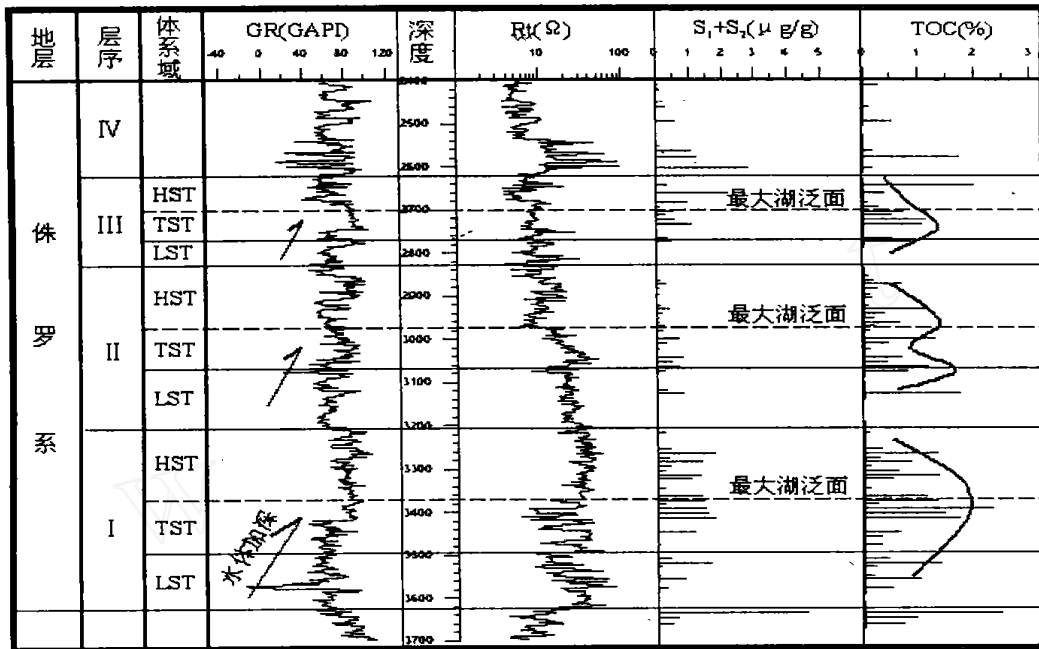


图 3 准噶尔盆地 XY4 井烃源岩评价图

Fig. 3 Evaluation of source-rock of Well XY4 in Jungar basin

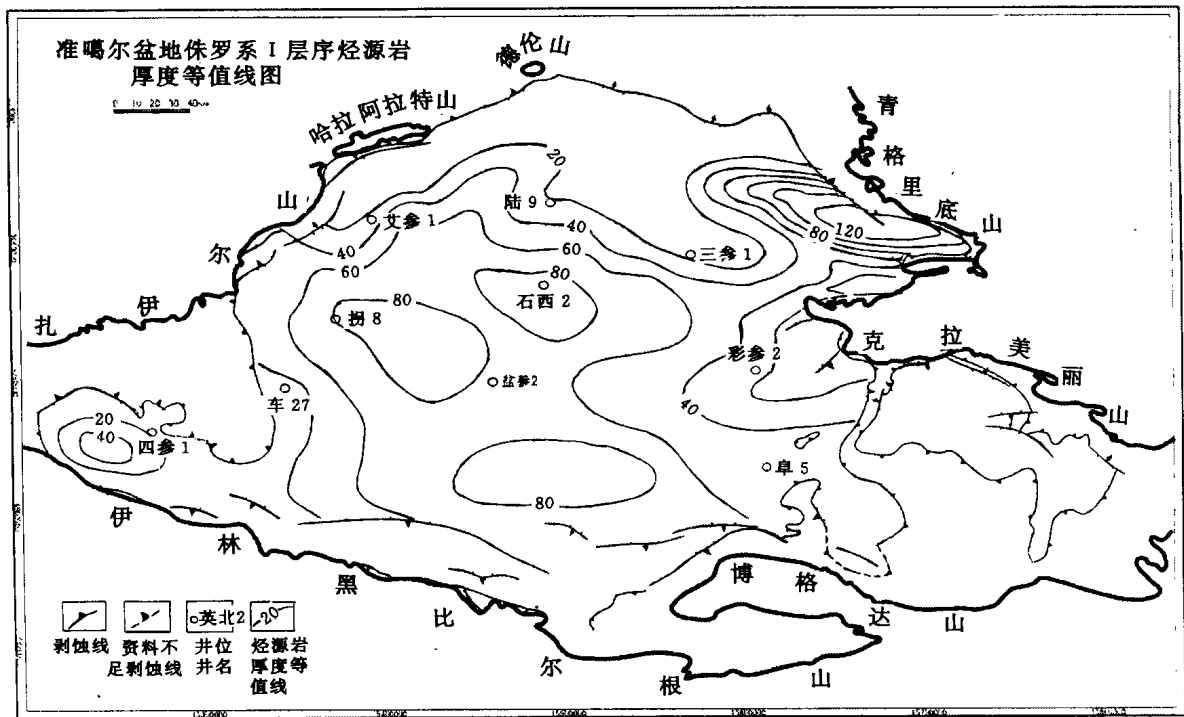


图 4 准噶尔盆地侏罗系 I 层序烃源岩厚度等值线图

Fig. 4 Contour map of source-rock thickness of Jurassic sequence I in Jungar basin

油田、达巴松凸起东部、中拐凸起、盆参 2 井区均在 60 ~ 80 m 的厚度范围内,莫北 2、莫北 5 井区厚度大于 80 m;索索泉凹陷东部厚度最大,超过 120 m,推测昌吉凹陷及盆 1 井西凹陷厚度将更大。

## 6 结论

从开阔海盆和中国陆相盆地的层序地层中烃源岩的研究情况看,由于陆相湖盆面积小、多物源以及控制湖平面变化因素的复杂性等原因,陆相盆地与海相开阔盆地相比,烃源岩在层序格架内纵向分布的具体位

置有些差别。对于中国陆相湖盆来说,东部断陷湖盆在不同演化阶段,沉积密集段可分布于高位体系域下部,也可分布于湖侵体系域,而西部盆地,则主要分布于湖侵体系域,即陆相湖盆由于盆地类型及其演化阶段不同,使得有利的烃源岩在层序内的纵向分布位置复杂化了。因此,仅依据层序地层格架和有限的分析化验数据难以准确确定层序内有利烃源岩的纵向分布位置。利用连续取样的地球化学录井资料,可以确定出纵向上有机质丰度较高的层段。将其与层序地层划分格架相结合,可从层序格架中地层单元分布理论模式和有机质丰度的相对变化两个方面确定层序格架中有利烃源岩纵向发育的位置及其厚度。按照该烃源岩评价思路建立的层序格架中烃源岩评价方法,在准噶尔盆地侏罗系烃源岩评价中的成功运用,表明利用该方法进行烃源岩评价是行之有效的。

#### 参考文献(References)

- 薛良清. 层序地层分析在裂谷盆地油气勘探中的应用. 石油学报, 2000, 21(5): 7~12 [Xue Liangqing. Application of sequence stratigraphic analysis to hydrocarbon exploration of rift basins. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(5): 7~11]
- 周小鹰,魏魁生. QDN盆地层序地层及生储盖组合分析. 石油与天然气地质, 2000, 21(3): 244~248 [Zhou Xiaoying, Wei Kuisheng. Sequence stratigraphy and source reservoir caprock assemblage of QDN basin. Oil & Gas Geology, 2000, 21(3): 244~248]
- 邬长武,刘震. 塔东北地区侏罗系烃源岩评价. 新疆石油地质, 2000, 21(3): 201~204 [Wu Changwu, Liu Zhen. Evaluation of Jurassic hydrocarbon source rocks in northeastern area of Tarim basin. Xinjiang Petroleum Geology, 2000, 21(3): 201~204]
- S. Creaney,谭忠心译. 层序地层框架中烃源岩质量和有机碳总量的循环模式. 见:顾家裕,邓宏文,朱筱敏主编. 层序地层学及其在油气勘探开发中的应用论文集. 北京:石油工业出版社, 1997. 88~102 [Creaney S. Translated by Tan Zhongxin. The cycling model of the quality and the total organic carbon of source rocks in sequence stratigraphic framework. In: Gu Jiayu, Deng Hongwen, Zhu Xiaomin, eds. Beijing: Petroleum Industry Publishing House, 1997: 88~102]
- Elisabeth C Kesters, Gjsbert J VanderZwaan, Frans J Jorissen. Production, preservation and prediction of source-rock facies in deltaic settings. International Journal of Coal Geology, May 2000, Issues 1-4, 43: 13~26
- Debra K Higley, Dave O Cox, Robert J Weimer. Petroleum system and production characteristics of the Muddy (J) Sandstone (Lower Cretaceous) Wattenberg continuous gas field, Denver basin, Colorado. AAPG Bulletin, 2003, 87(1): 15~38
- Isaksen G H, Patience R, van Graas G, Jenssen A I. Hydrocarbon system analysis in a rift basin with mixed marine and nonmarine source rocks: The South Viking Graben, North Sea. AAPG Bulletin, 2002, 86(4): 557~592.
- 杨剑平. 惠明凹陷下第三系湖相沉积密集段特征. 石油大学学报(自然科学版), 1998, 22(4): 21~25. [Yang Jianping. Features of lacustrine condensed sections of the lower Tertiary in Huimin depression. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Nature Science), 1998, 22(4): 21~24]
- 杨建业,任德贻,邵龙义. 沉积有机相在陆相层序地层格架中的分布特征——以吐哈盆地台北凹陷及准噶尔盆地南缘中侏罗世煤系为例. 沉积学报, 2000, 18(4): 585~589 [Yang Jianye, Ren Deyi, Shao Longyi. The distribution of sedimentary organic facies in the continental facies sequence stratigraphic framework: an example from middle Jurassic coal bearing series in the Taibei sag of the Tupan-Hami basin and southern Jungar basin. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(4): 585~589]
- 刘洛夫,康永尚. 准噶尔盆地侏罗系层序地层格架中的烃源岩评价. 沉积学报. 2002, 20(4): 687~694. [Liu Luofu, Kang Yongshang. Source-rock evaluation in Jurassic sequence stratigraphic framework in Jungar basin. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(4): 687~694]

## Method of Evaluating Source-rock with Geochemical Logging Data in the Sequence Stratigraphic Formation

HE Zhi-ping<sup>1,2</sup> KANG Yong-shang<sup>2,3</sup> SHAO Long-yi<sup>1</sup> YI Zhe<sup>4</sup> QI Xue-feng<sup>5</sup>

1(Departement of Resources and Earth Sciences, China University of Mining and Technology(Beijing Campus), Beijing 100083)

2(Key Lab of Petroleum and Gas Accumulation Mechanism, Changping Beijing 102249) 3(University of Petroleum,

Changping Beijing 102249) 4(Institute of Exploration and Development of Petroleum, Puyang Henan 457001)

5(Institute of Exploration and Development of Petroleum, Karamay Xinjiang 834000)

**Abstract** On the basis of investigations on the distribution of source-rock in the sequence stratigraphic framework, a method is introduced to evaluate source rocks by combining geochemical logging data with sequence stratigraphy. Through the practice of evaluating Jurassic source rocks in Jungar basin, it is shown that this method is available and practicable.

**Key words** geochemical logging, sequence stratigraphy, source-rock evaluation, Jurassic, Jungar Basin