

Subdivision Evaluation and Hydrocarbon Generation Capacity of Source Rocks in Wuerxun Depression

Li Zhang^{1,2}

¹Research Institute of Exploration & Development, Daqing Oilfield Company Ltd., Daqing Heilongjiang

²Key Laboratory for the Research of Dense Oil and Mud Rock Oil in Heilongjiang Province, Daqing Heilongjiang

Email: zhangli18157@petrochina.com.cn

Received: Nov. 8th, 2019; accepted: Nov. 22nd, 2019; published: Nov. 29th, 2019

Abstract

During the “Thirteenth Five-Year Plan” period, the peripheral basins such as Hailar-Ishu are still an important area for the sustainable and effective development of Daqing Oilfield. It is necessary to increase the proven reserves of 0.22 - 0.50 million tons of oil. As the most promising depression for exploration in the Hailaer Basin, the Wuerxun-Beir Sag provides resources and technical support for the sustainable and effective development of oil fields. The Wuerxun sag is one of the two main oil-rich depressions in the Hailaer Basin. The study of source rocks is still at the interval level, which cannot meet the current demand for fine exploration. It is also necessary to establish standards for the identification and evaluation of high-quality source rocks, and study the distribution law on the plane. In this study, the sequence stratigraphy combined with organic geochemistry is used to subdivide the southern part of the Wuerxun depression into two small layers, and the south section is subdivided into eight small layers. The TOC technique is calculated by ΔLogR method. The stratification and grading evaluation of the source rocks are carried out. At the same time, the evaluation criteria of high-quality source rocks in the Wuerxun sag are established. The high-quality source rocks in the Wuerxun depression are determined to be K_{1n13} - K_{1n16} , and 67% of the oil discharge is determined by the contribution of organic carbon $\text{TOC} > 2\%$ of high quality source rocks.

Keywords

Subdivision Evaluation of Source Rock, Logging Evaluation Method, Evaluation Criteria of Source Rock, Research on Hydrocarbon Generation Capacity

乌尔逊凹陷烃源岩细分层评价及生烃能力研究

张 利^{1,2}

¹大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 黑龙江 大庆

文章引用: 张利. 乌尔逊凹陷烃源岩细分层评价及生烃能力研究[J]. 地球科学前沿, 2019, 9(11): 1205-1211.

DOI: 10.12677/ag.2019.911126

²黑龙江省致密油和泥岩油成藏研究重点实验室, 黑龙江 大庆
Email: zhangli18157@petrochina.com.cn

收稿日期: 2019年11月8日; 录用日期: 2019年11月22日; 发布日期: 2019年11月29日

摘要

“十三五”期间, 海拉尔-依舒等外围盆地仍是大庆油田持续有效发展资源接替的重要领域, 要增加0.22~0.5亿吨石油探明储量, 乌尔逊-贝尔凹陷作为海拉尔盆地勘探最有前景的凹陷, 为油田持续有效发展提供资源和技术保障。乌尔逊凹陷是海拉尔盆地两大主力富油凹陷之一, 烃源岩研究仍停留在层段级别上, 满足不了目前精细勘探的需求, 还需要建立优质烃源岩识别与评价的标准, 研究平面上的分布规律。本研究把层序地层学与有机地球化学相结合, 将乌尔逊凹陷南二段细分为两个小层, 南一段细分为八个小层; 利用测井 ΔLogR 法计算TOC技术, 对烃源岩进行分层、分级评价; 同时建立乌尔逊凹陷优质烃源岩评价标准, 研究确定乌尔逊凹陷优质源岩分布层系为 $K_1n_{13}\sim K_1n_{16}$, 其排油量的67%是由有机碳TOC > 2%的优质烃源岩所贡献。

关键词

烃源岩细分层评价, 测井评价方法, 烃源岩评价标准, 生烃能力研究

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

烃源岩是油气生成和成藏的基础, 对烃源岩的评价是勘探决策的重要依据。受构造变动、气候变化、沉积充填等所导致的沉积环境变迁的影响, 烃源岩有机质的发育、分布存在明显的非均质性。客观刻画源岩的非均质性, 尤其是客观评价优质源岩对油气资源量的贡献, 是提高油气资源评价精度及勘探决策水平的要求。烃源岩测井评价方法和层序地层地球化学研究方法为精细评价优质烃源岩的分布特征提供了技术手段。近年来, 层序地层地球化学研究日益受到重视, 它将传统以组段为单元的烃源岩评价, 细化到层序、体系域级别, 从而提高了烃源岩评价精度。实际上, 在一个完整的层序中, 纵向上有机质含量分布具有明显的规律性, 凝缩段(密集段)附近的沉积速率较低, 有机质含量相对最高, 而由凝缩段向上或向下, 有机质含量逐渐降低。层序地层地球化学方法在层序地层格架基础上, 以层序或体系域为单元来进行烃源岩评价, 它比以组、段为研究单元的传统方法能更加精细地刻画烃源岩发育的非均质性, 进而为准确预测烃源岩体积和生烃量、提高油气成因分类的精度奠定了基础[1] [2] [3]。

ΔlogR 方法是一种利用测井资料识别和计算含有有机质岩层总有机质碳的方法, 适用于碳酸盐岩和碎屑岩。测井信息可以间接地反映出地层的岩性及其流体性质。利用自然伽马、电阻率、声波时差等常规测井曲线对有机质的不同响应, 可以建立测井信息与有机质丰度之间的对应关系, 直接获取烃源岩有机质丰度等评价参数, 从而定性、定量地评价烃源岩层。 ΔlogR 技术简便易行, 能够提供纵向连续的高分辨率的 TOC 曲线, 消除了烃源岩分布的非均质性及有限岩心分析样品的随机性取样等因素所带来的统计误差, 因而为烃源岩的精细评价提供了可靠基础[4] [5]。

朱振宇等(2003)对 AlogR 方法计算有机碳含量模型改进, 实现自动优选叠合系数, 在缺少成熟度参数、无需人为确定有机碳含量背景值及基线值情况下, 通过计算机快速、准确地计算有机碳含量。改进模型在海拉尔盆地及松辽盆地的应用结果表明, 改进方法使计算有机碳含量与实测有机碳含量相关度达到最高, 且方法简单, 具有广泛的应用前景[6]。吴文祥等(2015)依据地化分析数据以及测井曲线预测的有机碳含量, 运用层序地层地球化学分析方法, 在层序格架内对贝尔凹陷烃源岩进行了精细研究, 明确了主力烃源岩和优质烃源岩的发育层序(体系域)和规模, 并计算了主力源岩和优质源岩的生烃与排烃量, 认为贝尔凹陷 SQ2 和 SQ3 层序烃源岩是研究区的主力烃源岩; SQ2 层序生油与排油量占绝对优势[7]。

2. 烃源岩细分层评价

乌尔逊凹陷南屯组纵向上划分了 8 个四级层序, 正在向更精细的五级层序研究迈进, 而烃源岩研究仍停留在层段级别上, 满足不了目前精细勘探的需求, 亟需在细分层格架下精细研究烃源岩品质, 评价其资源潜力。

本研究应用烃源岩测井评价方法($\Delta\log R$ 法), 在细分层层序地层格架基础上, 研究源岩有机碳(TOC)纵向和平面上的分布规律, 精细评价烃源岩的品质和生烃能力[6] [7]。与以往研究相比较, 更加精细, 主要体现在: 1) 以往评价分层只划分到组段, 分南一段、南二段和铜钵庙组评价, 本次研究应用层序地层学最新分层成果, 将南二段细分为 K_1n_{21} 和 K_1n_{22} 两层, 南一段细分为 K_1n_{11} 、 K_1n_{12} 、 K_1n_{13} 、 K_1n_{14} 、 K_1n_{15} 、 K_1n_{16} 、 K_1n_{17} 和 K_1n_{18} 共 8 小层, 层序地层学与有机地球化学相结合从而得出更加精细的认识; 2) 利用烃源岩测井评价方法($\Delta\log R$ 法)计算了具备条件的所有井的有机质丰度, 最大限度的减小了烃源岩非均质性影响, 对烃源岩的品质评价更加准确可靠。

根据层序地层学分层成果, 在精细分层格架下, 对各细分层烃源岩有机碳含量(TOC)、生烃潜量($S_1 + S_2$)和氢指数(HI)的大量有机地球化学数据进行了统计和分析, 见表 1。从分析结果来看, 乌尔逊凹陷南屯组有机质丰度整体好于铜钵庙组, 南一段的烃源岩品质要好于南二段, 南一段下部 $K_1n_{13} \sim K_1n_{16}$ 层段烃源岩有机质丰度明显好于南一段上部, 该层段烃源岩品质尤为突出。从分区上看, 乌尔逊北部地区烃源岩品质要好于南部地区。总的来看, 南一段下部 $K_1n_{13} \sim K_1n_{16}$ 层段的烃源岩丰度较高, 品质好, 生油潜力更大。

Table 1. Average statistical table of geochemical data in various areas of Wuerxun depression

表 1. 乌尔逊凹陷各地区地化数据平均值统计表

层位	TOC 平均值(%)		$S_1 + S_2$ 平均值(mg/g)		HI 平均值(mg/g)	
	乌南	乌北	乌南	乌北	乌南	乌北
K_1n_{21}	2.27	2.93	4.55	5.63	250.69	236.6
K_1n_{22}	1.9	2.61	4.6	6.84	290.4	281.57
K_1n_{12}	1.8	/	5.58	/	231.5	/
K_1n_{13}	2.17	2.37	5.81	11.1	276.74	285.96
K_1n_{14}	1.77	2.36	8.58	8.94	412.99	286.71
K_1n_{15}	2.27	3.44	5.66	9.06	323.01	269.49
K_1n_{16}	1.64	2.32	3.07	7.52	200.5	295.86
K_1n_{17}	1.8	1.37	9.51	3.38	425.43	212.78
K_1n_{18}	1.42	/	2.74	/	247.14	/
K_{1t}	1.31	1.82	2.79	1.1	248.33	113.72

一定数量的有机质(包括烃源岩有机质含量及烃源岩数量)是成烃的物质基础, 而有机质的质量(即母质类型的好坏), 则决定着生烃量的大小及生成烃类的性质和组成。在本次乌尔逊 - 贝尔凹陷烃源岩有机

质类型评价中, 考虑中国陆相烃源岩有机质类型普遍采用的划分方法(四分法), 故采用干酪根的四分法, 划分出 III、II₂、II₁ 和 I 型干酪根。

乌尔逊凹陷南二段烃源岩有机质类型主要为 II₁ 型, 南一段烃源岩以 I~II 型为主, K_{1n13}~K_{1n16} 层段类型最好, 有机碳(TOC)含量高, 氢指数(HI)分布的频率范围好, 尤其是有机碳(TOC) > 2% 的烃源岩, 说明该段泥岩有机母质类型较好。而铜钵庙组烃源岩以 II₂ 型和 III 型为主, 同时存在部分 I 型和 II₁ 型干酪根。乌尔逊南部地区烃源岩好于北部, I 型干酪根居多。

乌尔逊凹陷南一段下部烃源岩类型好, 生烃潜力大, 有机质丰度品质好于其它层位的原因, 可能是该层段沉积时水体偏咸水, 属于微咸水环境。据统计乌尔逊凹陷内有 11 口井烃源岩发现了 β -胡萝卜素, 见图 1 所示, 在 K_{1n13}~K_{1n16} 层段中检测到 β -胡萝卜素的样品最多, 同时伽马蜡烷的丰度也很高。含 β -胡萝卜素烃源岩有机碳(TOC)与裂解烃(S₂)相关性很好, 见图 2。在源岩研究中, β -胡萝卜素是一种专属性较强的化合物, 一般含量较高的 β -胡萝卜素指示一种盐度含量高的咸化的水体沉积, 且一般具有较强的还原环境, 有利于有机质的保存[8]。

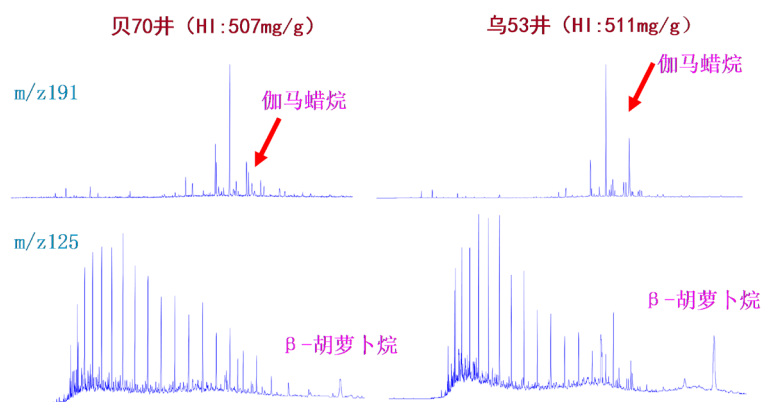


Figure 1. Chromatography-mass spectrum of K_{1n15} mudstone in Well Bei 70 and Wu 53 well in Wuerxun depression

图 1. 乌尔逊凹陷贝 70 井、乌 53 井 K_{1n15} 泥岩色谱 - 质谱图

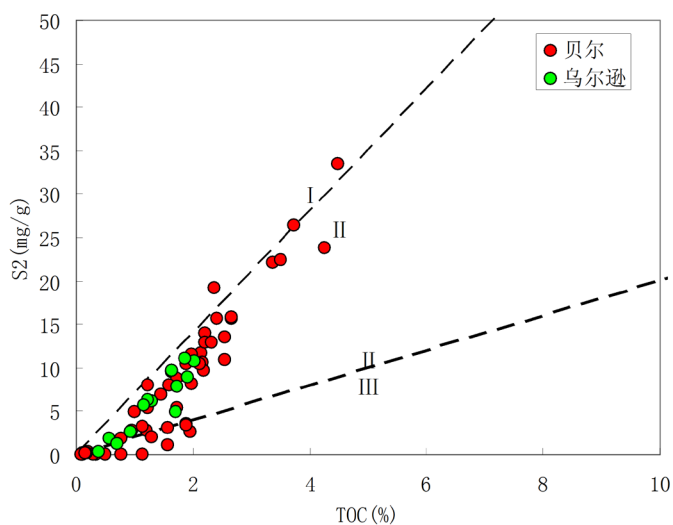


Figure 2. Correlation diagram of TOC and S₂ in β -carotene source rocks in Wuerxun depression

图 2. 乌尔逊凹陷含 β -胡萝卜素烃源岩 TOC 与 S₂ 相关图

本研究计算了 142 口井的有机碳(TOC)数据,结合大量实测数据验证,在凹陷内分区建立了测井计算有机碳(TOC)模型,该方法适合在乌尔逊凹陷应用于烃源岩精细刻画,有助于研究不同类型烃源岩纵向、平面的空间展布及烃源岩发育特征。

通过建立乌尔逊凹陷从南到北的连井剖面,研究剖面分布特征,认为南屯组沉积期间,烃源岩有机碳(TOC)大于 2%的层段在凹陷内普遍较厚,在 K_1n_{15} 层段烃源岩丰度均高,而在凹陷边部有机碳(TOC)大于 2%的烃源岩分布少,变化非常明显。沉积环境上来看,乌尔逊凹陷南二段湖盆的面积大于南一段;区域上,在南一段北部地区比南部沉积相对稳定,湖盆范围广,沉积中心应在现今的东侧,而南部地区初始沉积中心在东侧,后移到西侧,且南部地区源岩厚度横向上变化较大;在单井上有机碳(TOC)无明显的沉积规律,符合小型断陷湖盆沉积特点。

3. 烃源岩分级评价标准建立

陆相断陷盆地烃源岩的沉积有机质主要来源于湖生生物及陆源高等植物,为同断陷盆地或同一断陷盆地发育的不同时期形成的烃源岩,由于生物发育种属、数量及有机质的沉积积存条件的差异,往往具有不同的丰度和类型特征,既使同一层段沉积的有机质也表现出了明显的非均质性,正确评价源岩的生烃潜力,是油气生成与资源评价的基础[9] [10]。

国内外通常采用的泥(页)岩烃源岩划分标准和我国陆相烃源岩的评价标准,一般适用于湖相或海相泥页岩烃源层的评价。表 2 为我国陆相淡水湖泊相烃源岩的评价标准,但由于海拉尔探区地质情况的复杂性,因而如果套用该标准,将会对本区烃源岩的评价产生偏差。

Table 2. Evaluation criteria for source rocks of continental freshwater lakes

表 2. 陆相淡水湖泊相烃源岩的评价标准

指标	湖盆水体类型	非生油岩	生油岩类型			
			差	中等	好	最好
TOC (%)	淡水 - 半咸水	<0.4	0.4~0.6	>0.6~1.0	>1.0~2.0	>2.0
	咸水 - 超咸水	<0.2	0.2~0.4	>0.4~0.6	>0.6~0.8	>0.8
“A” (%)	-	<0.015	0.015~0.050	>0.050~0.100	>0.100~0.200	>0.200
HC (10^{-6})	-	<100	100~200	>200~500	>500~1000	>1000
$S_1 + S_2$ (mg/g)	-	-	<2	2~6	>6~20	>20

海拉尔盆地乌尔逊凹陷烃源岩的沉积环境主要为淡水 - 微咸水湖泊相沉积,有机质类型偏腐殖型干酪根,在局部的薄层中发育有腐泥型干酪根。图 3 是乌尔逊凹陷烃源岩有机碳(TOC)与裂解烃(S_2)相关图,可以看出南一段下部 K_1n_{13} ~ K_1n_{15} 层段烃源岩的有机质类型主要为 I 型和 II 型,而且当有机碳 TOC > 2% 时,对应的氢指数(HI)最高,分布的频率范围最好。

因此通过有机碳、热解、生物标志物测定及镜下鉴定等综合评价方法,结合烃源岩的丰度和品质,确认烃源岩类型的变化规律,明确了 K_1n_{13} ~ K_1n_{16} 层段为优质烃源岩分布层,并建立乌尔逊凹陷优质烃源岩评价标准,见表 3,认为当烃源岩有机碳 TOC > 2%、裂解烃 S_2 > 8 mg/g 时为优质烃源岩,优质烃源岩对油气生油具有重要意义。

4. 细分层生烃能力研究

烃源岩的生烃演化研究,对确定生油门限和成烃高峰、准确评价生油层都具有重要意义。源岩的生烃潜力是其中有机质质量的综合反映,根据源岩中生烃前后有机质质量不变的原理,可以依照源岩的生烃潜力在沉积剖面上的变化规律来研究源岩的排烃特征[11] [12]。对于乌尔逊凹陷的油气生成来说,能够

排烃的源岩才可视为有效源岩, 对该区的油气真正有贡献, 相对来说烃源岩进入生油门限后可以开始生油, 但一般来说生油量较少, 对本区的油气贡献相对较少, 因此根据生油门限圈定出有效源岩的分布范围, 根据排烃门限(开始大量生油深度)圈定出主力烃源岩的范围。

Table 3. Evaluation criteria for high quality source rocks in Wuerxun depression

表 3. 乌尔逊凹陷优质烃源岩评价标准

分级	有机碳 TOC (%)	裂解烃 S_2 (mg/g)	评价层位
一般	0.5~1	<5	K_1n_{13} ~ K_1n_{16}
中等	1~2	5~8	
优质	>2	>8	

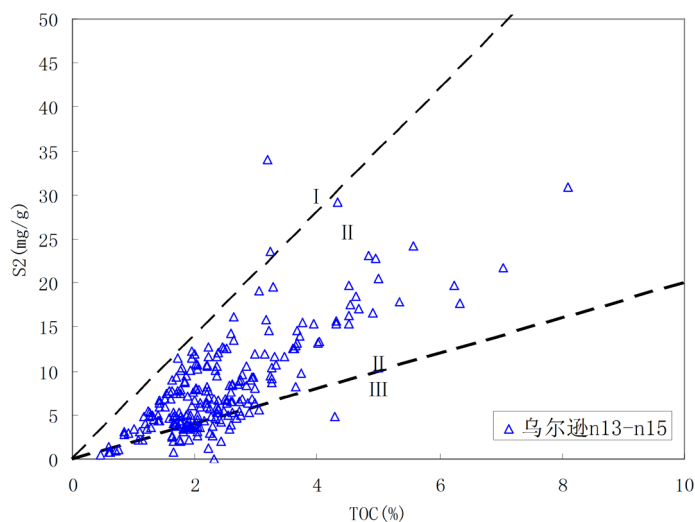


Figure 3. Correlation diagram between TOC and S_2 in source rocks of the lower part of the southern section of Wuerxun depression

图 3. 乌尔逊凹陷南一段下部烃源岩 TOC 与 S_2 相关图

在细分层下, 研究各层烃源岩地球化学特征; 利用生烃动力学模拟实验、含水热模拟实验等技术, 研究油气生成和排烃效率, 建立生排烃模式, 结合烃源岩自然演化剖面, 确定有效烃源岩的生烃和排烃门限; 运用盆模法, 分析烃源岩生烃演化过程, 利用排油强度定量评价各层烃源岩的生烃能力。

研究结果绘制成有机碳(TOC)分级生油比例图, 见图 4, 可看出乌尔逊凹陷北部和南部地区源岩生排油量主要是来自于有机碳 $TOC > 2\%$ 的源岩, 其贡献最大。以南一段生排油能力最强, 其中 K_1n_{13} ~ K_1n_{16} 层段排油量占南一段总排油量的 85%; 优质烃源岩生烃能力显著, K_1n_{13} ~ K_1n_{16} 层段排油量的 67%是由有机碳 $TOC > 2\%$ 的优质烃源岩所贡献。而铜钵庙组泥岩生油、排油强度都有所降低。

5. 研究结论

1) 乌尔逊凹陷南一段下部 K_1n_{13} ~ K_1n_{16} 层段的烃源岩丰度较高, 品质好, 生油潜力更大, 明显好于南一段上部烃源岩, 具有较高丰度的 β -胡萝卜素、伽马蜡烷特征。

2) 乌尔逊优质烃源岩评价标准为: 烃源岩有机碳 $TOC > 2\%$ 、裂解烃 $S_2 > 8$ mg/g。优质烃源岩生烃能力显著, K_1n_{13} ~ K_1n_{16} 层段排油量的 67%是由有机碳 $TOC > 2\%$ 的优质烃源岩所贡献。

3) 乌尔逊烃源岩精细评价方法体系对海拉尔盆地其它凹陷和相似地区的烃源岩评价具有较强的指导和借鉴意义。

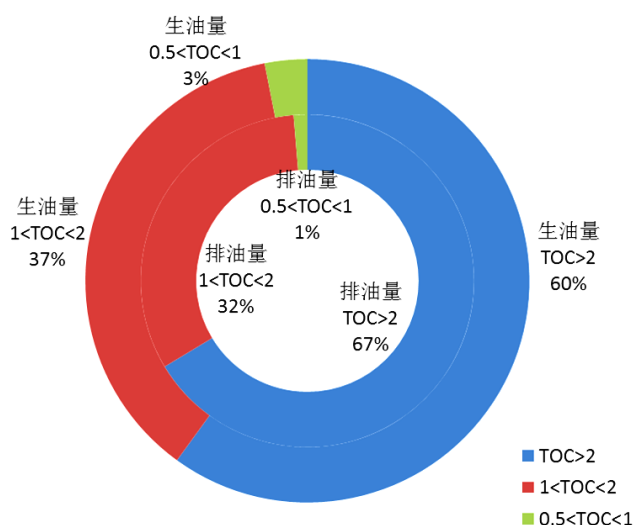


Figure 4. Proportion of organic carbon (TOC) graded oil in source rocks of Wuerxun depression

图 4. 乌尔逊凹陷烃源岩有机碳(TOC)分级生油比例图

4) 海拉尔盆地白垩系的勘探和研究程度较高,而对乌尔逊凹陷塔木兰沟组烃源岩的研究较少,目前在塔木兰沟组钻遇了具有生烃潜力的大套暗色泥岩,成为海拉尔盆地勘探的新领域,因此有必要对塔木兰沟组的烃源岩品质和生烃潜力进行精细评价。

基金项目

中国石油天然气股份公司重大科技专项课题“乌尔逊-贝尔凹陷油气运聚及成藏定年研究”(2012E-2603)。

参考文献

- [1] 李志明, 徐二社, 秦建中, 等. 烃源岩评价中的若干问题[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2010, 25(6): 8-12, 27.
- [2] 霍秋立, 等. 海拉尔盆地油藏地球化学研究[R]. 大庆油田有限责任公司勘探开发研究院科研报告, 2002: 11, 52-63.
- [3] 刘洛夫, 康永尚, 齐雪峰, 等. 准噶尔盆地侏罗系层序地层格架中的烃源岩评价[J]. 沉积学报, 2002, 20(4): 687-694.
- [4] Passey, Q.R., Creaney, S. and Kulla, J.B. (1990) A Practical Model for Organic Richness from Porosity and Resistivity Logs. *AAPG Bulletin*, 74, 1777-1794. <https://doi.org/10.1306/0C9B25C9-1710-11D7-8645000102C1865D>
- [5] 王鹏, 唐成磊, 王飞. $\Delta\log R$ 技术在烃源岩评价中的应用[J]. 断块油气田, 2009, 16(2): 52-54.
- [6] 朱振宇, 刘洪, 李幼铭. $\Delta\log R$ 技术在烃源岩识别中的应用与分析[J]. 地球物理学进展, 2003, 18(4): 647-649.
- [7] 吴文祥, 张海翔, 李占东, 等. 层序地层地球化学方法在烃源岩评价中的应用——以海拉尔盆地贝尔凹陷为例[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(4): 701-710.
- [8] Peters, K.E. and Moldowan, J.M. (1993) *The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1-363.
- [9] 王伟明, 卢双舫, 吴伟, 等. 海拉尔盆地乌尔逊、贝尔凹陷优质烃源岩特征[J]. 地质科学, 2011, 46(4): 1009-1016.
- [10] 卢双舫, 马延伶, 曹瑞成, 等. 优质烃源岩评价标准及其应用: 以海拉尔盆地乌尔逊凹陷为例[J]. 地球科学中国地质大学学报, 2012, 37(3): 535-544.
- [11] 赵彦德, 刘洛夫, 张枝焕, 等. 南堡凹陷古近系层序地层格架中烃源岩分布与生烃特征研究[J]. 沉积学报, 2008, 26(6): 1077-1085.
- [12] 马中良, 郑伦举, 李志明. 烃源岩有限空间温压共控生排烃模拟实验研究[J]. 沉积学报, 2012, 30(5): 954-962.