

文章编号: 1001-6112(2009)01-0068-06

海拉尔盆地乌尔逊凹陷南屯组优质烃源岩发育特征

刘新颖¹, 邓宏文¹, 邸永香¹, 高晓鹏¹, 王金奎², 龙国清³

(1. 中国地质大学 能源学院, 北京 100083; 2. 大庆油田有限责任公司 勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163435; 3. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 运用钻井岩心及测井资料, 对海拉尔盆地乌尔逊凹陷烃源岩的生物发育、地球化学特征进行研究, 认为乌尔逊凹陷南屯组发育有薄层优质烃源岩, 它们有机质丰度高, 类型好, 生烃潜力大。结合研究区地质条件, 并参考前人的研究成果, 建立了适合本区优质烃源岩的评价标准; 认为本地区烃源岩在生烃潜量(S_1+S_2)大于 20 mg/g, 氯仿沥青“A”大于 0.3%, TOC 大于 5.0%, 总烃(HC)大于 700×10^{-6} 的情况下为优质烃源岩; 同时, 运用有机碳测井评价方法, 结合研究区优质烃源岩评价标准, 分析了区内诸多钻井优质烃源岩的分布特征。结果表明, 研究区优质烃源岩主要发育在南屯组, 特别是该组的上部, 南屯组一段烃源岩的厚度大于南屯组二段。总的来说, 本区优质烃源岩的发育对盆地油气成藏产生较大的生烃贡献。

关键词: 有机碳测井; 地球化学; 优质烃源岩; 南屯组; 白垩系; 乌尔逊凹陷; 海拉尔盆地

中图分类号: TE122.113

文献标识码: A

HIGH QUALITY SOURCE ROCKS OF NANTUN FORMATION IN WUERXUN DEPRESSION, THE HAILAER BASIN

Liu Xinying¹, Deng Hongwen¹, Di Yongxiang¹, Gao Xiaopeng¹, Wang Jinkui², Long Guoqing³

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Daqing Oil Field Corp Ltd, Daqing, Heilongjiang 163435, China; 3. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China)

Abstract: Source rocks of Wuerxun Depression of the Hailaer Basin were investigated to characterize their biological developments, organic geochemistry. Together with wire logs and well cores analyses, three series of high quality source rocks in Nantun Formation were discovered. They all have good organic types, high abundance of organic materials and high hydrocarbon potentials. Combined with geological setting and referred previous study, the criterion of high quality source rocks was established [$(S_1+S_2) > 20$ mg/g, chloroform bitumen “A” $> 0.3\%$, TOC $> 5.0\%$ and HC $> 700 \times 10^{-6}$], which was fit for the whole study area. Through the method of organic carbon log, the distribution of high quality source rocks was confirmed, which showed that the high quality source rock was mainly developed as thin layer in the Nantun Formation, especially in the upper part. In short, the development of the high quality source rocks contributed greatly to the pool forming.

Key words: organic carbon log; geochemistry; high quality source rocks; Nantun Formation; Cretaceous; the Wuerxun Depression; the Hailaer Basin

在国内烃源岩评价分级标准中, 通常按生烃潜力将烃源岩分为好烃源岩、中等烃源岩、差烃源岩和非烃源岩 4 档, 缺少优质烃源岩这一级别。相对而言, 国外比较重视对优质烃源岩的研究, 并建立了一系列相应的评价标准^[1]。近年来, 随着盆地成烃研究的深入, 优质烃源岩的重要性逐渐被国内专家学者认识^[2,3], 肯定了其在陆相大型油气田和小而肥富油凹陷成藏的生烃贡献。在隐蔽油气藏勘

探过程中, 优质烃源岩的存在可以大大提高隐蔽油气藏的勘探成功率^[3]。本文将主要是应用地球化学分析、有机碳测井等方法对海拉尔盆地乌尔逊凹陷南屯组优质烃源岩特征及其分布进行评价, 这对于该区的油气勘探工作将会有实际的指导意义。

1 区域地质概况

乌尔逊凹陷是海拉尔盆地贝尔湖坳陷的二级

构造单元之一,是海拉尔盆地最有潜力的勘探地区。乌尔逊凹陷位于贝尔坳陷的中部,面积为 2 166 km²,为一南北向展布、西断东超的箕状凹陷,南与贝尔凹陷,北与红旗、新宝力格凹陷局部连通^[4]。凹陷内发育南、北 2 个继承性次凹,北部为乌北次凹,沉积岩埋藏最深 4 500 m,南部为乌南次凹,沉积岩埋深大于 6 000 m。围绕着乌北次凹发育着苏仁诺尔、黄旗庙等构造带;围绕着乌南次凹发育着乌西断阶带、乌东斜坡带及乌南南部的巴彦塔拉构造带^[5](图 1)。

乌尔逊凹陷以内陆湖相碎屑岩为主,盆地基底为古生界和前古生界,盖层为侏罗系的兴安岭群和白垩系铜钵庙组、南屯组、大磨拐河组、伊敏组、青元岗组,其次为第三系及第四系^[6]。其中白垩系为目前主要的勘探层位,主要生油层是铜钵庙组、南屯组、大磨拐河组,为一套浅—深湖相沉积。南屯组暗色泥岩累计厚度 100~300 m。大磨拐河组暗色泥岩累计厚度最大,在 150~600 m 之间。在乌尔逊北部地区钻井基本没钻穿铜钵庙组,而乌南地区铜钵庙组暗色泥岩不发育^[7]。一般认为南屯组

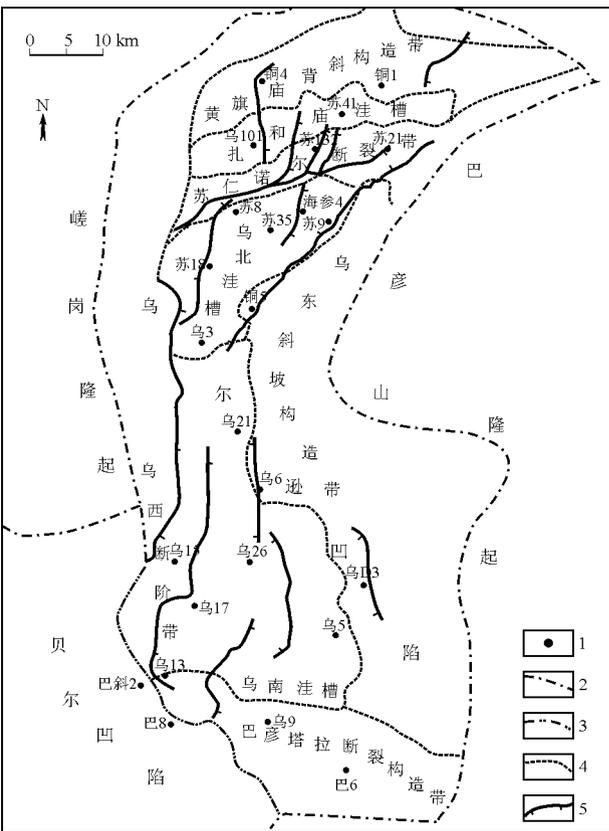


图 1 海拉尔盆地乌尔逊凹陷构造单元划分

1. 探井井位; 2. 一级构造单元分区线; 3. 二级构造单元分区线; 4. 三级构造单元分区线; 5. 主要断层

Fig. 1 Tectonic division of the Wuerxun Depression, the Hailaer Basin

及大磨拐河组一段下部为本区主力烃源岩层。

2 优质烃源岩地球化学特征

由于乌南与乌北 2 个次凹相对独立,在探讨乌尔逊优质烃源岩特征时将其分为乌南与乌北 2 个部分单独讨论。

2.1 乌北地区

通过对乌北地区苏 33 井、苏 35 井、海参 4 井等进行地化综合分析评价(图 2),在两井南二段和南一段烃源岩中存在有丰度较高的优质烃源岩层。不同层段或同一层段源岩有机质丰度上存在明显的非均质性,高丰度层段的烃源岩其有机碳可达到 7.68%,氯仿沥青“A”可达 0.498%;而常规的烃源岩一般有机碳在 1.5%~2.0%,氯仿沥青“A”一般在 0.05%~0.2%。由此可以看出,优质的烃源岩有机质丰度较常规烃源岩高出 2~4 倍。

本套优质烃源岩有机质类型较好,通常为 I 型(图 3);其饱和烃气相色谱分析(图 4)表现出烃类分布为单峰型,主峰碳数为 nC₁₉,碳数在 nC₂₉ 以后的烃类含量很低,说明该套烃源岩有机质应主要以藻类等低等水生生物的贡献为主^[8];组分碳同位素分析表明,该套烃源岩碳同位素较轻,饱和烃 δ¹³C 在 -29.37‰~-33.58‰,同样反映烃源岩母质类型较好,这种类型的有机质易向油转化,生油能力较强。由此,优质烃源岩的存在对该地区油气的

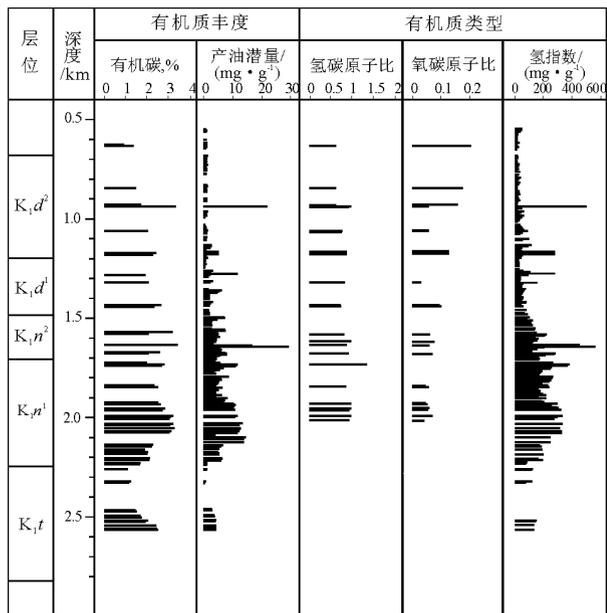


图 2 海拉尔盆地乌尔逊凹陷 海参 4 井烃源岩有机地化综合评价

Fig. 2 The composite geochemical assessment of source rocks of Well Haican 4 in the Wuerxun Depression, the Hailaer Basin

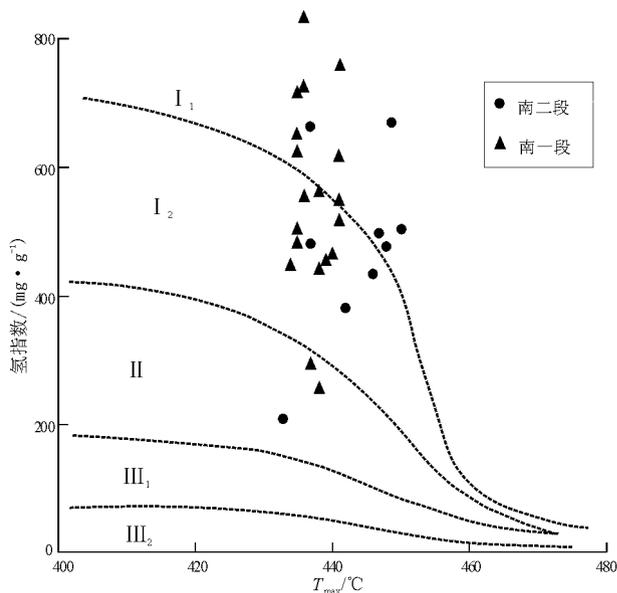


图3 海拉尔盆地乌尔逊凹陷南屯组优质烃源岩有机质类型划分

Fig. 3 The dividing of organic types of high quality source rocks of the Wuerxun Depression, the Hailaer Basin

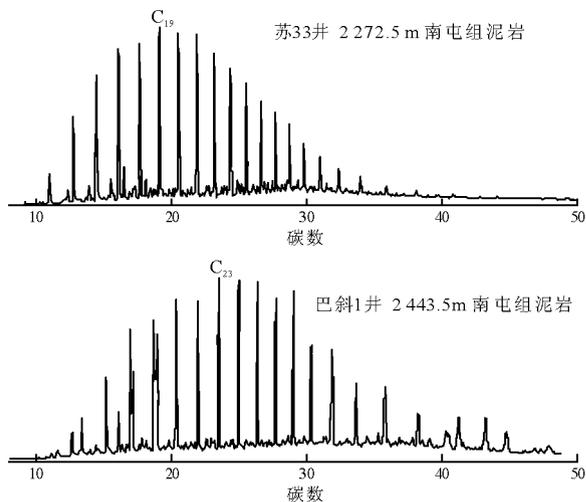


图4 海拉尔盆地乌尔逊凹陷烃源岩饱和烃气相色谱

Fig. 4 The saturated hydrocarbon gas chromatography of source rocks in the Wuerxun Depression, the Hailaer Basin

生成应该有较大的贡献。

钻井揭示,该区优质烃源岩一般多呈薄层出现,且主要出现在南屯组中,反映出该时期湖水有明显的变化,且在水进时期可能由于气候等因素,使湖内出现藻类的大量繁殖,从而该套源岩内富含藻类等可以大量生油的低等水生生物。

2.2 乌南地区

乌南次凹巴彦塔拉地区南屯组源岩表现为有机质丰度高,类型好,且源岩处于成熟演化阶段。如巴斜1井南屯组部分源岩 TOC 在 5% 以上,氯

仿沥青“A”在 0.3%~0.4%,生烃潜量超过 20 mg/g, H/C 原子比大于 1.4, R_o 大于 0.7%。对该井 2 435~3 445 m 源岩进行全岩显微组分鉴定,发现该套源岩中发育大量的层状藻(图 5)。同时在巴 14 井及巴 16 井南屯组源岩中均发现异常发育的层状藻。另外在一些样品中还发育结构藻,该藻的体积较大,多呈亮黄色荧光,为与层状藻不同的藻类品种。这说明在南屯组沉积时,河流为湖水带来了大量的养料,使得古湖泊内水生生物大量繁殖(尤其是藻类)。当湖盆底部为缺氧还原条件时,降落到湖底的水生生物和陆源有机质被保存在沉积物中,藻类等有机质的富集使源岩的有机质丰度(如 TOC、氯仿沥青“A”、 $S_1 + S_2$ 等)含量较高,且该源岩类型一般多为 I 型,对油气生成的贡献较大。

饱和烃气相色谱分析表明(图 4),巴斜 1 井泥岩为单一峰型,主峰碳一般为 nC_{21} 或 nC_{23} , nC_{29} 以后的高碳数烷烃含量较少,反映出源岩有机质主要以低等水生生物(藻类)来源为主^[9]。明显与常规泥岩不同的是,该套源岩表现出明显的植烷优势,而非姥鲛烷优势,Pr/Ph 多在 0.2~0.7,反映出该套源岩沉积时湖水为高盐度的咸水环境^[10,11]。这种高盐度的水体一般缺氧,对有机质的保存极为有利。但这种沉积环境在断陷湖盆不是处处发育,乌尔逊凹陷目前只是在乌南次凹巴彦塔拉地区发现该种类型的沉积。

该套源岩的组分碳同位素分析表明,饱和烃、芳烃、非烃及沥青质的碳同位素相对较轻,饱和烃 $\delta^{13}C$ 一般轻于 -32‰,最轻可达 -34.6‰。这说明

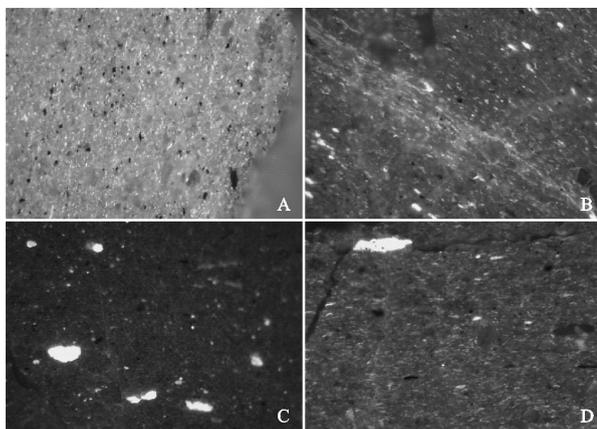


图5 海拉尔盆地乌尔逊凹陷南部巴彦塔拉地区南屯组泥岩中层状藻类显微照片

A. 巴斜 1 井南一段 2 435 m 泥岩($\times 200$); B. 巴斜 1 井南一段 2 437.50 m 泥岩($\times 200$); C. 巴 16 井南一段 2 153.35 m 泥岩($\times 100$); D. 巴 16 井南一段 2 153.35 m 泥岩($\times 200$)

Fig. 5 The photo of layered algae in Nantun Formation in Bayantanla, the Wuerxun Depression of the Hailaer Basin

乌南巴彦塔拉地区南屯组源岩有机质输入应以藻类等低等水生生物为主,母质类型较好。

3 优质烃源岩分布特征

3.1 乌尔逊凹陷优质烃源岩评价标准

由于目前国内还没有统一的优质烃源岩评价标准,在考虑研究区地质条件和参考前人提出的评价标准的基础上,建立了适合本地区的优质烃源岩评价标准。在烃源岩分级评价标准建立过程中,对于不同种类的烃源岩,要考虑不同因素的影响。同时,有机质成熟度也是必须考虑的因素,成熟度过高,因烃类运移会使烃源岩的有机质丰度下降^[12,13],因此不同成熟度的烃源岩具有不同的评价标准。

研究区为典型的陆相断陷湖盆,有机质来源主要为水生生物和陆源有机质。凹陷内烃源岩生烃门限约为 1 530 m,当埋藏深度为 2 600 m 时 R_o 约为 1.0% (图 6),而盆地内大部分烃源岩层深度均小于 2 600 m,说明凹陷内烃源岩层一般没有达到高成熟阶段。以凹陷内烃源岩样品的生烃潜力为基础,综合考虑研究区内沉积环境、有机质来源、有机质成熟度等因素,参考侯读杰等(2007)^[3]提出的优质烃源岩评价标准,结合大量数据提出了适合本地区的优质烃源岩划分标准(图 7)。认为本地区烃源岩在生烃潜力($S_1 + S_2$)大于 20 mg/g,氯仿沥青“A”大于 0.3%,TOC 大于 5.0%,总烃(HC)大于 700×10^{-6} 的情况下为优质烃源岩。

从国内现有的烃源岩评价标准来看,一般包含了有机碳、氯仿沥青“A”、总烃,生烃潜力, H/C 原子比等多个地化指标,因此在评价中需要做多项的

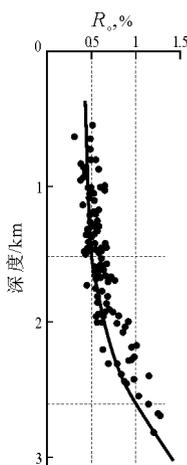


图 6 海拉尔盆地乌尔逊凹陷源岩 R_o 与深度关系

Fig. 6 The relationship between R_o and burial depth of source rocks in the Wuerxun Depression, the Hailaer Basin

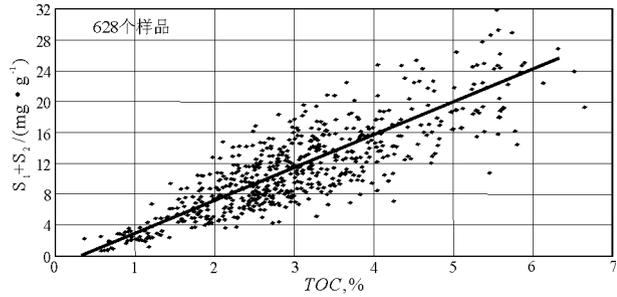


图 7 海拉尔盆地乌尔逊凹陷烃源岩 TOC 和 $S_1 + S_2$ 的关系
Fig. 7 The relationship between TOC and $S_1 + S_2$ of source rocks in the Wuerxun Depression, the Hailaer Basin

分析和综合判定。从海参 4 井有机地化综合评价图(图 2)上可以看出,本区泥岩有机质丰度与有机质类型有较良好的正比关系,所以在本区内优质烃源岩成熟度不高的情况下,判别优质烃源岩时主要考虑有机碳含量这一项指标。

3.2 优质烃源岩的识别方法

受成本因素和样品来源的限制,一般很难获得烃源岩各种分析指标纵向上连续分布的剖面,由此给优质烃源岩评价带来了很大局限性,尤其是在该凹陷烃源岩具有明显的不均一性的情况下更是如此。国外从 20 世纪 60 年代末期就开始着手研究利用测井方法解决烃源岩评价问题,到目前为止,应用较广的是法国石油研究院于上世纪 80 年代末提出的有机碳测井评价方法^[14]和 Exxon 公司提出的 ΔLog 法^[15]。这 2 种方法都是基于烃源岩有机质对测井曲线的响应特征,建立解释模型,用声波测井和电阻率测井定量计算有机碳的含量,同时针对不同成熟度的烃源岩对解释模型进行适当的修正。本文将采用法国石油研究院提出的有机碳测井评价方法来获得单井纵向连续的有机质丰度(TOC)。此种方法的解释模型和理论方法在此不再赘述,可参考文献[14]和[16]。图 8 为盆地内部分井计算值与实测值的交汇图,从图上可以看出,计算 TOC 值与实验室分析化验出的数据具有良好的 consistency。在计算单井连续的 TOC 曲线的基础上,结合本地区优质烃源岩判别标准就可以有效地识别优质烃源岩。

3.3 优质烃源岩的分布

以法国石油研究院于 1980 年代末提出的有机碳测井评价方法为基础,计算了凹陷内多口探井的 TOC 曲线,并根据本区优质烃源岩判别标准,识别了各井优质烃源岩在单井上的分布。从苏 33 井可见(图 9),优质烃源岩主要分布在南屯组一段上部,呈薄层状产出,单层厚度较薄,多数在 1~7 m,

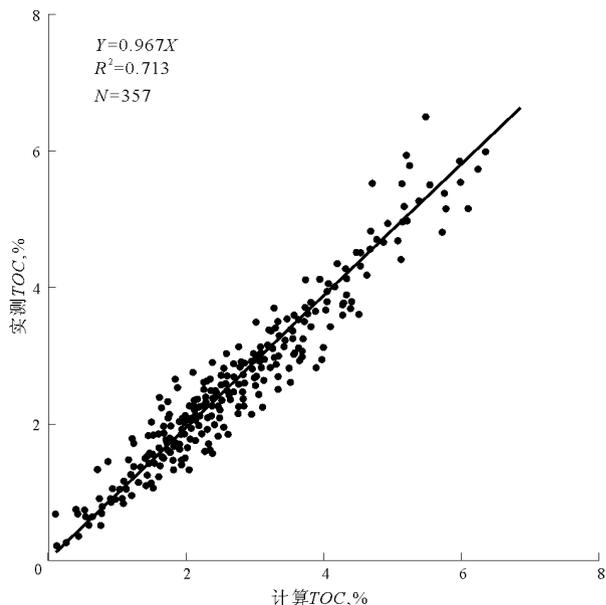


图 8 海拉尔盆地乌尔逊凹陷部分井计算 TOC 与实测 TOC 交会图

Fig. 8 The TOC crossplot of actual measurement and calculation in some wells in the Wuerxun Depression, the Hailaer Basin

总体上非均质性较强。同时,纵向上,南一段优质烃源岩厚度也要大于南二段,这可能是由于南一段沉积时期,湖水含盐度较高,从而更有利于有机质的保存。

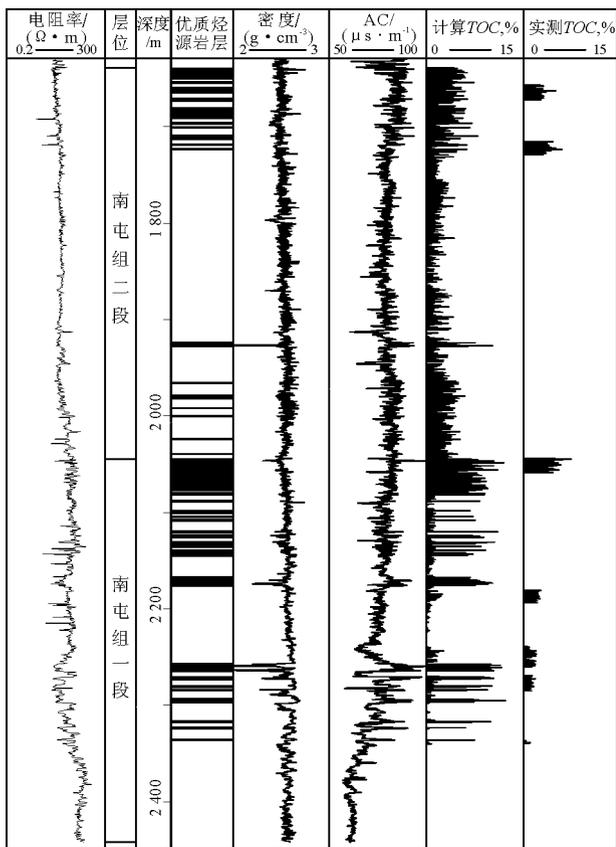


图 9 海拉尔盆地乌尔逊凹陷苏 33 井优质烃源岩纵向展布

Fig. 9 Vertical distribution of high quality source rocks in Well Su33, the Wuerxun Depression, the Hailaer Basin

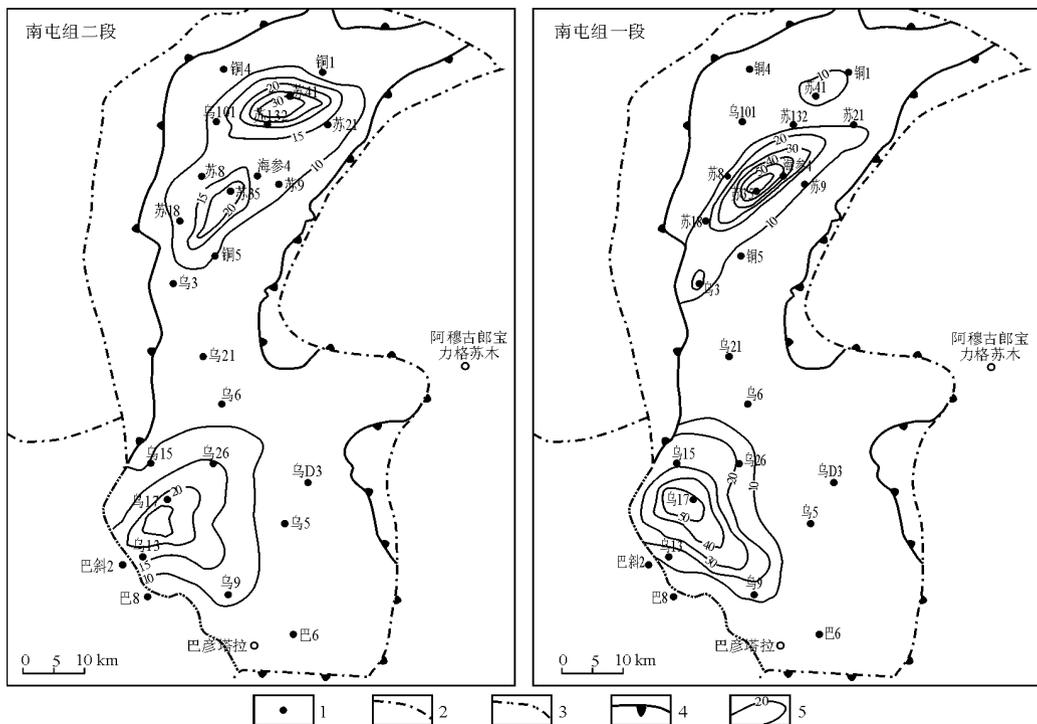


图 10 海拉尔盆地乌尔逊凹陷南屯组优质烃源岩等厚线

1. 探井井位; 2. 一级构造单元分区线; 3. 二级构造单元分区线; 4. 地层尖灭线; 5. 等值线 /m

Fig. 10 The thickness isoline of high quality source rocks of Nantun Formation in the Wuerxun Depression, the Hailaer Basin

在计算了凹陷内多口探井的优质烃源岩厚度的基础上,综合考虑本地区沉积相与其它地球化学特征,绘制了各层段的优质烃源岩厚度等值线图(图 10)。总的来看,乌尔逊凹陷优质烃源岩在南一段最厚,最大厚度约为 60~70 m(凹陷北部苏 35 井附近),北部南一段优质烃源岩分布呈 NW 向,分布面积相对较小;南部南一段优质烃源岩主要分布在靠南的巴彦塔拉地区,最大厚度位于乌 17 井附近,约为 50~60 m。由于本段优质烃源岩埋藏深度较深,成熟度较高,厚度较大,对本区的油气成藏应有较大的贡献。

南二段优质烃源岩厚度较薄,但分布面积相对南一段更广。凹陷北部最大厚度为 30~40 m,位于苏 41 井区附近。南部优质烃源岩分布与南一段相似,最大厚度位于乌 17 井附近,约为 30~40 m。

4 结论

1) 乌尔逊凹陷在南屯组发育优质烃源岩,优质烃源岩多以薄层状产出,纵向非均质性较强。

2) 南屯组优质烃源岩有机质丰度(如 TOC、氯仿沥青“A”、 $S_1 + S_2$ 等)含量较高,TOC 大于 5.00%,实测有机碳最高可达 7.68%,有机质多处于成熟演化阶段。

3) 该套源岩饱和烃气相色谱分析表现出烃类分布为单峰型,主峰碳以低碳数为主,烃源岩碳同位素较轻。说明该套源岩有机质输入以藻类等低等水生生物为主,有机质类型以 I 型为主,少量为 II₁ 型。

4) 乌尔逊凹陷优质烃源岩主要发育在南屯组,南屯组一段厚于南屯组二段,且主要在南一段上部。凹陷南部主要分布在靠南的巴彦塔拉地区,凹陷北部发育在苏 35—苏 41 井区附近。南二段优质烃源岩分布面积大于南一段,可能与凹陷的南屯组沉积期的湖侵范围变化有关。

参考文献:

- 1 Espitalie J, Bordenave M L. Rock-Eval pyrolysis[A]. Applied petroleum geochemistry[C], Paris: Editions Technip, 1993. 161
- 2 张林峰,孔祥星,张春荣等. 济阳拗陷下第三系优质烃源岩的发育及其意义[J]. 地球化学, 2003, 32(1): 35~41
- 3 侯读杰,肖建新,程顺国等. 济阳凹陷优质烃源岩与隐蔽油气藏的成藏关系分析[A]. 陈会鑫. 第二届中国石油地质年会——中国油气勘探潜力及可持续发展论文集[C], 北京:石油工业出版社, 2006. 486~499
- 4 姜福杰,庞雄奇,姜振学等. 海拉尔盆地乌尔逊及贝尔凹陷烃源岩有机质丰度的恢复[J]. 石油实验地质, 2008, 30(1): 82~85
- 5 冯志强,任延广,张晓东等. 海拉尔盆地油气分布规律及下步勘探方向[J]. 中国石油勘探, 2004, 9(4): 19~21
- 6 张吉光,彭苏萍,林景晔. 乌尔逊凹陷沉积成岩体系与油气分布[J]. 古地理学报, 2002, 4(3): 74~81
- 7 张文宾,陈守田,周俊宏. 海拉尔盆地油气分布规律及成藏模式[J]. 大庆石油学院学报, 2004, 28(6): 8~10
- 8 Tissot B P, Welte D H. Petroleum formation and occurrence: A new approach to oil and gas exploration [M]. New York: Springer Verlag, 1978. 538
- 9 侯读杰,王铁冠. 陆相油气地球化学研究[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1996
- 10 李守军. 正烷烃、姥鲛烷与植烷对沉积环境的指示意义——以山东济阳拗陷下第三系为例[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1999, 23(5): 14~23
- 11 朱光有,金强. 东营凹陷两套优质烃源岩层地质地球化学特征研究[J]. 沉积学报, 2003, 21(3): 506~512
- 12 周杰,李娜. 有关烃源岩定量评价的几点意见[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2004, 19(1): 15~23
- 13 刘全有,刘文汇,王晓锋等. 不同烃源岩实验评价方法的对比[J]. 石油实验地质, 2007, 29(2): 88~93
- 14 Carpentier B. Wireline logging and source rocks—estimation of organic carbon by the CARBOLOG method[J]. The Log Analyst, 1991, 32(3): 279~297
- 15 Passey Q R, Creaney S, Kulla J B, et al. A practical model for organic richness from porosity and resistivity logs [J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(12): 1777~1794
- 16 运华云,项建新,刘子文. 有机碳测井评价方法及在胜利油田的应用[J]. 测井技术, 2000, 24(5): 372~381

(编辑 叶德燎)