

doi: 10.11720/wtyht.2021.1391

杨松林,李岩,刘亚轩,等.乌尔逊凹陷泥页岩演化特征及潜力区预测[J].物探与化探,2021,45(4):906-912.http://doi.org/10.11720/wtyht.2021.1391

Yang S L, Li Y, Liu Y X, et al. Evolution characteristics and potential area prediction of shale in Wuersun Sag[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2021, 45(4): 906-912. http://doi.org/10.11720/wtyht.2021.1391

乌尔逊凹陷泥页岩演化特征及潜力区预测

杨松林¹, 李岩², 刘亚轩³, 杨雪³, 蒋文博⁴

(1. 烟台黄金职业学院, 山东 烟台 264000; 2. 东北石油大学 地球科学学院, 黑龙江 大庆 163318; 3. 中国石油玉门油田分公司老君庙采油厂, 甘肃 酒泉 735019; 4. 青海油田勘探开发研究院, 甘肃 敦煌 736200)

摘要: 乌尔逊凹陷为海拉尔盆地南部重要的含油区, 具有较大勘探潜力。笔者通过油源对比确定乌尔逊凹陷主力烃源岩层, 分析不同区域源岩发育特征及有机质丰度、类型等地球化学指标, 评价乌尔逊凹陷主力烃源岩生油成熟期和成藏阶段, 通过流体包裹体均一化温度的测量, 来判断油气充注史, 预测优先勘探潜力部位。研究发现, 乌尔逊凹陷不同区域油源不完全相同, 乌尔逊北部油藏源于南屯组泥页岩母质, 乌尔逊南部区域除了南屯组泥页岩, 还有铜钵庙组暗色泥岩生成的油流混入。乌尔逊凹陷具有两期成藏: 第一期为伊敏组后期—青元岗组早期, 原油由烃岩层排出, 运移注入圈闭成藏; 第二期为青元岗组后期构造活动使早期油藏原油重新调整分配注入新的圈闭成藏。综合分析认为乌北洼陷西侧、乌南洼陷东侧构造带为两个重要的勘探潜力带。

关键词: 海拉尔; 乌尔逊地区; 泥页岩; 潜力区; 包裹体

中图分类号: P632

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2021)04-0906-07

0 引言

海拉尔盆地是大庆长垣以外较大的含油气盆地, 处在内蒙古自治区东部, 盆地内划分为 16 个凹陷、4 个凸起, 凹陷总面积为 24 870 km²。海拉尔盆地地层以陆相碎屑岩沉积为主, 主要沉积地层为侏罗系、白垩系、古近—新近系及第四系, 海拉尔盆地主要的含油气系统处于白垩系地层中。盆地内主要烃源岩层是白垩系铜钵庙组、南屯组、大磨拐河组; 储集层在垂向上分布在白垩系铜钵庙组、南屯组二段和大磨拐河组二段, 生、储、盖组合划分为下生上储型、自生自储型及新生古储型 3 大类型。

乌尔逊凹陷是海拉尔盆地中南部富油凹陷, 近几年来, 不断发现的新圈闭和高产工业油流井, 展示出乌尔逊凹陷具有较大勘探潜力^[1]。研究发现, 乌尔逊凹陷的烃源岩较发育, 是其石油成藏的主控因素, 因此弄清楚其烃源岩特征及演化史, 对于寻找潜

力油藏具有重要意义。从目前研究及公开文献报道来看, 缺乏对乌尔逊凹陷烃源岩进行系统的研究, 尤其是没有将烃源岩的演化史与典型油藏的注入史进行结合, 影响了寻找勘探潜力区的进程^[2-4]。笔者通过油源对比确定乌尔逊凹陷主力烃源岩层, 分析不同区域源岩发育特征及有机质丰度、类型等地球化学指标, 评价乌尔逊凹陷主力烃源岩生油成熟期和成藏阶段, 通过流体包裹体均一化温度的测量, 来判断油气充注史, 预测优先勘探潜力部位。

1 烃源岩成熟度分析

乌尔逊凹陷主要发育白垩系、古近—新近系和第四系地层(图 1), 其中白垩系地层包括下白垩统和上白垩统地层, 上白垩统包括铜钵庙组、南屯组、大磨拐河组以及伊敏组, 下白垩统包括青元岗组地层。烃源岩层主要位于下白垩统地层中, 从下到上发育铜钵庙组泥岩、南屯组的暗色泥页岩以及大磨

收稿日期: 2020-07-24; 修回日期: 2021-04-16

基金项目: 国家科技重大专项(2016ZX05009005)

作者简介: 杨松林(1987-), 男, 硕士, 山东济南人, 烟台黄金职业学院讲师, 主要从事矿产地质与勘查研究工作。

2 有机质丰度

由于乌尔逊凹陷大磨拐河组成熟度过低,对于油气成藏贡献微小,因此后续的烃源岩分析对其不作重点关注。表 1 为乌尔逊凹陷有机质丰度分析,其中南二段烃源岩的有机碳含量为 0.27%~5.9%,平均值为 2.2%;氯仿沥青“A”为 0.001%~0.23%,平均值为 0.057%;热解生烃潜量为 $(0.13\sim 21.1)\times 10^{-3}$,平均值为 7.1×10^{-3} ,综合评价该层段为中—好

10⁻³,平均值为 7.1×10^{-3} ,综合评价该层段为中—好烃源岩。南一段烃源岩的有机碳为0.13%~4.3%,平均值为 2.0%;氯仿沥青“A”为 0.001%~0.51%,平均值为 0.12%;热解生烃潜量为 $(0.05\sim 37.0)\times 10^{-3}$,平均值为 5.38×10^{-3} ,综合评价该层段为中—好烃源岩。铜钵庙组有机碳为 0.09%~3.4%,平均值为 1.0%;氯仿沥青“A”为 0.003%~0.12%,平均值为 0.06%;热解生烃潜量为 $(0.09\sim 11.0)\times 10^{-3}$,平均值为 3.8×10^{-3} ,综合评价该层段为中等烃源岩。

表 1 乌尔逊凹陷烃源岩有机质地球化学参数

Table 1 Geochemical parameters of organic matter in source rocks of Wuerxun Sag

层位	岩性	有机碳		氯仿沥青“A”		热解生烃潜量		评价结果
		范围/%	平均值/%	范围/%	平均值/%	范围/10 ⁻³	平均值/10 ⁻³	
K ₁ n ²	泥页岩	0.27~5.9	2.2	0.0010~0.23	0.057	0.12~21.1	7.10	中—好
K ₁ n ¹	泥页岩	0.13~4.3	2.0	0.001~0.51	0.12	0.05~37.0	5.38	中—好
K ₁ t	泥岩	0.09~3.4	1.0	0.003~0.12	0.06	0.09~11.0	3.8	中等

3 有机质类型

烃源岩是有机质高度富集的有机岩,依据沉积环境与内部组分的不同分类为腐泥型(Ⅰ)、腐殖型(Ⅲ)、腐泥—腐殖型(Ⅱ)3 大类及若干亚类(Ⅰ₁、Ⅰ₂、Ⅱ、Ⅲ₁、Ⅲ₂),腐泥型有机质较利于生油,腐殖型有机质偏利于生气^[5-6]。

母质类型的划分本次主要采用了 H/C—O/C 图版和热解氢指数—T_{max} 图版(图 3);铜钵庙组烃源岩以Ⅲ₁ 型为主,含有部分Ⅱ型烃源岩;南屯组一段泥页岩以Ⅱ型为主,部分属于Ⅰ₂ 型;南屯组二段泥页岩以Ⅰ₂ 型为主。铜钵庙组的 T_{max} 值在 430~460℃ 之间,南屯组一段、二段在 420~440℃ 之间,南屯组二段有部分样点的 T_{max} 值小于 420℃,表明铜钵庙组和南屯组一段的烃源岩进入了大量生油期,而南屯组二段烃源岩达到低成熟阶段。

4 油源对比

乌尔逊凹陷平面不同位置原油特征不同,低熟油仅发现于乌南区域,其余均为成熟油,反映乌尔逊凹陷的油源平面上具有不完全一致性。

图 4 为乌尔逊凹陷原油及烃源岩质量色谱,从图中可见,乌尔逊凹陷北部区域原油 T_s>T_m,C₂₇—C₂₈—C₂₉ 甾烷为不对称 V 字型分布,C₂₁/C₂₂₊ 比值仅为 1.08,表明成熟度相对较低,与南屯组烃源岩色谱图一致。原油碳同位素较轻,δ¹³C 比值在 -32.0‰~-28.5‰ 之间,由此推断其源岩有机质类型应为Ⅱ型。且在原油中检验出伽马蜡烷,从伽马蜡烷在我国的陆相沉积盆地的分布来看,其多发育于盐湖相沉积中及一些咸化的沉积盆地中,属于淡水—微咸水深湖相。综合判断,主力烃源岩来源于南屯组烃源岩。

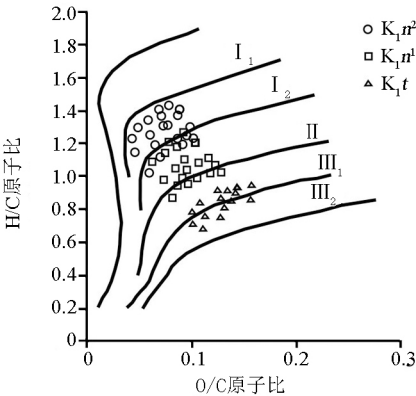


图 3 有机质类型分析

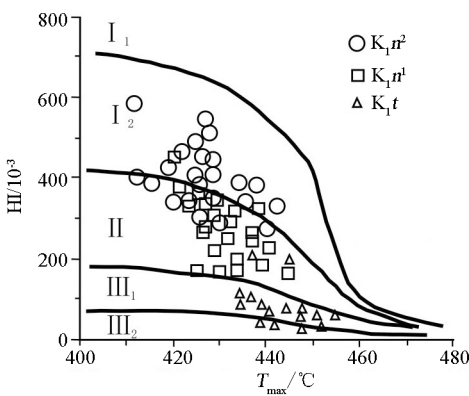


Fig.3 Analysis of organic matter types

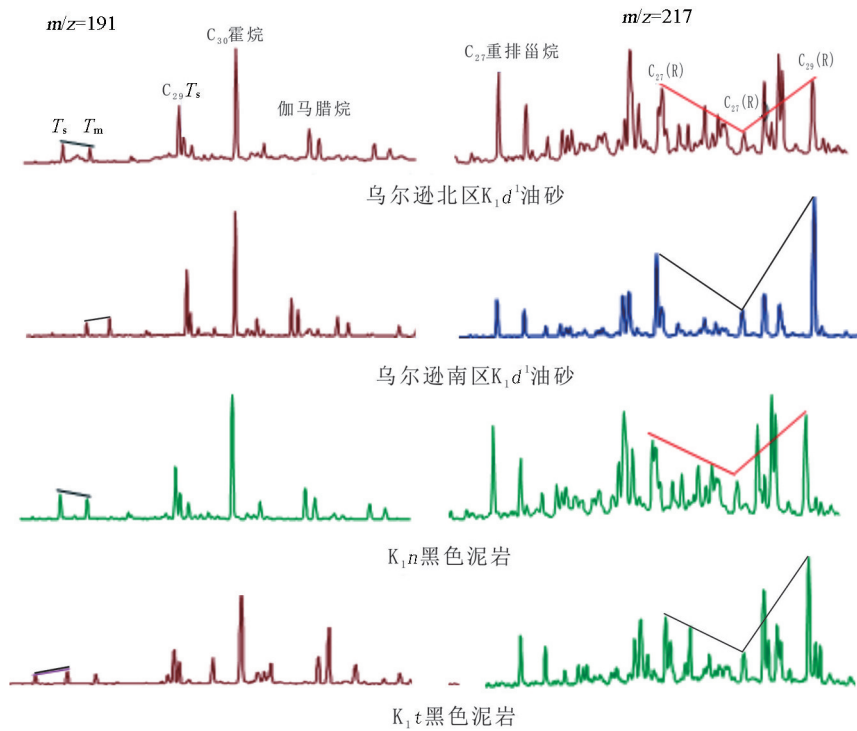


图 4 乌尔逊凹陷原油及烃源岩质量色谱

Fig.4 Quality chromatogram of crude oil and source rock in Wuerxun depression

乌尔逊凹陷南部原油, C_{21-}/C_{22+} 比值为 7.77, 表明该构造原油质轻, 可能成熟度高或者。油砂 $C_{27}-C_{28}-C_{29}$ 甾烷虽然也成对称 V 字型分布, 但 C_{29} 过大, 且 $T_s < T_m$, 显示与乌尔逊凹陷南部油源类型相似但不完全一致。从色谱质谱图特征来看与铜钵庙组烃源岩也具有一定的相似性, 同位素偏重, 反映发育于非还原的沉积环境, 该原油可能来自高等植物的混入, 因此初步判断其为南屯组烃源岩和铜钵庙组的共同贡献^[7-8]。

图 5 为原油和烃源岩碳同位素特征, 乌尔逊凹陷北部区域的原油碳同位素分布在 $-32.0‰ \sim -28.0‰$ 之间, 这与南屯组烃源岩碳同位素值具有相同的值域范围; 而南部区域原油碳同位素值偏重, 分布在 $-29.0‰ \sim -27.5‰$ 之间, 介于南屯组烃源岩与铜钵庙组的暗色泥岩碳同位素值之间, 更接近于南屯组泥页岩层, 显示其主力烃源岩为南屯组的暗色泥页岩, 同时铜钵庙组的暗色泥岩也具有一定的贡献, 成熟度分析也显示铜钵庙组烃源岩处于成熟阶段, 而南屯组的暗色泥岩处于低成熟—成熟阶段。

5 有机质热演化史及成藏史

如图 6 所示, 根据研究区实际样品分析氯仿沥青“ A ”统计图, 得到乌尔逊凹陷源岩有机质成熟门

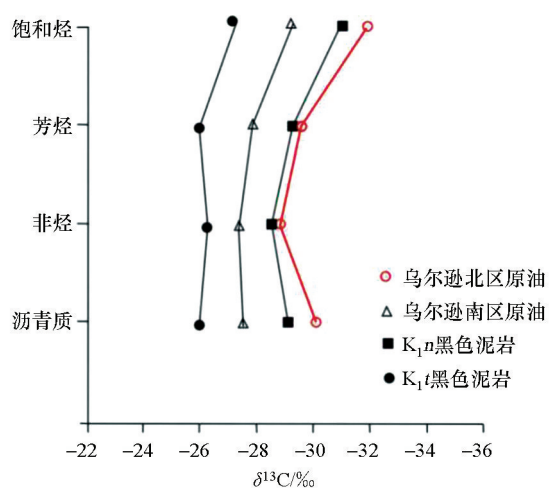


图 5 原油和烃源岩碳同位素特征

Fig.5 Carbon isotope characteristics of crude oil and source rocks

限大约在 1 550 m, 此时, 有机质转化率达到 5%, 对应镜质组反射率 $R_0 = 0.55\%$; 生油高峰对应的深度大约在 2 200 m, 此时有机质转化率可超过 20%, 对应镜质组反射率 R_0 可达 $0.8\% \sim 1.0\%$ 左右。铜钵庙组成油转化率最高, 但地层厚度明显太薄, 不会成为主要的烃源岩。南屯组地层上部虽处于低熟阶段, 但大部分已经进入成熟生油阶段, 成为乌尔逊凹陷主要烃源岩。主力烃源岩分布于巴彦塔拉、乌北苏仁诺尔等地区。

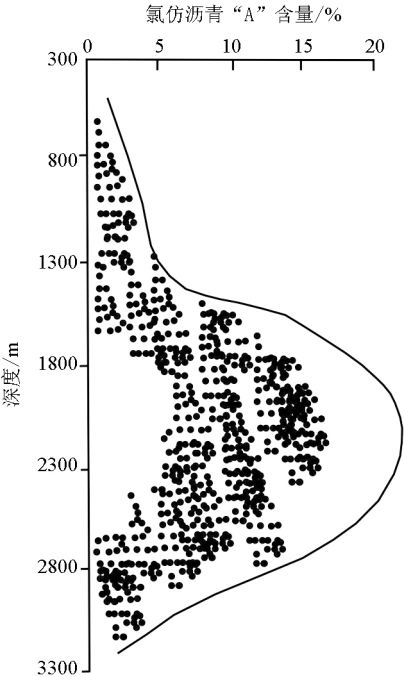


图 6 乌尔逊深部洼陷烃源岩演化剖面
Fig.6 Source rock evolution profile of Wuerxun deep subsag

图 7 为乌尔逊凹陷地层埋藏史、热史和烃源岩演化史,可见,铜钵庙组泥岩主要生气时间约在 130~110 Ma,南屯组泥页岩生油的生成时间约为 120~80 Ma,即伊敏组末期至青元岗组沉积期,镜质体反射率为 0.5%~0.9%,目前乌尔逊凹陷发现的原油成熟度没有达到油大量裂解成气的程度,而且油源对比也认为油源主要为南屯组,生成原油为成熟原油且成熟度偏低,现今仍在排油,乌尔逊凹陷南部有铜钵庙组烃源岩的贡献混入,使凹陷不同位置油藏的成藏时间存在多样性。

通过流体包裹体的均一化温度的测量来判断油气充注史^[9],南屯组二段包裹体重点存在于方解石条带和石英脉内,基于包裹体均一温度实测结果显示(图 8),南屯组二段砂岩样品包裹体均一化温度范围有两个,即 90~130 ℃和 145 ℃以上,其中低温组 90~130 ℃的包裹,代表了铜钵庙组泥岩和南屯组泥页岩生成的流体注入,高温组代表了油藏二次调整重新生成新的油藏,温度过高可能反映了深部热源流体的温度。

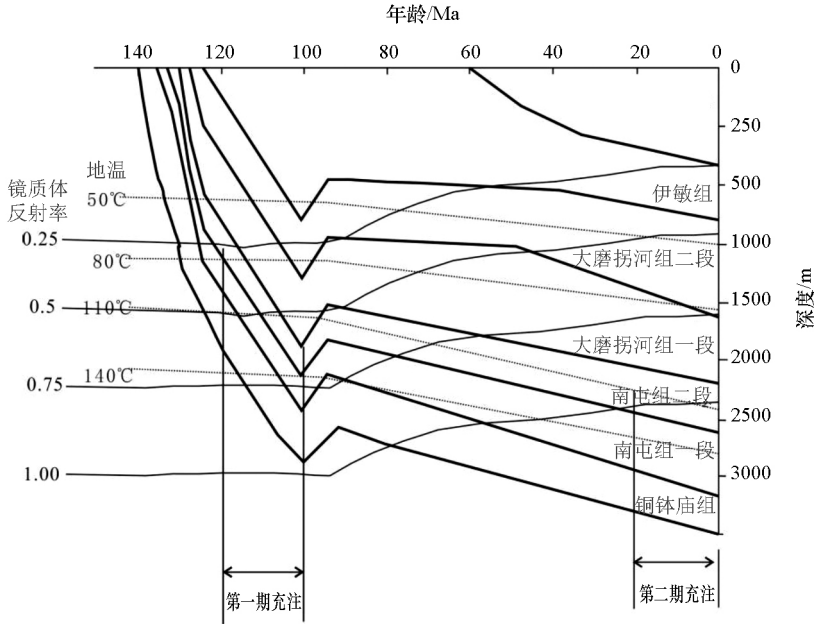


图 7 乌尔逊凹陷地层埋藏史、热史及充注史
Fig.7 Burial history, thermal history and filling history of strata in Wuerxun Sag

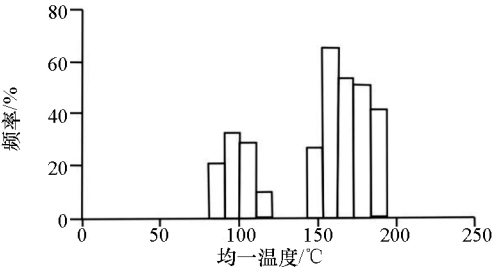


图 8 均一化温度分布
Fig.8 Homogenization temperature distribution

乌尔逊凹陷油气成藏主要划分为两期:第一期为伊敏组沉积晚期至青元岗组沉积期,与南屯组和铜钵庙组烃源岩大量生油期相匹配;第二期为青元岗组后期构造活动使早期油藏原油重新调整分配注入新的圈闭成藏,但与第一期成藏的位置有紧密关系,一般按就近充注原则在第一期成藏位置附近的构造高点二次充注成藏。

6 有利潜力区预测

乌尔逊凹陷目前已发现油气聚集区带,均处于主力烃源岩分布区附近,且有断层发育,构成了烃源层油气运移至圈闭的优势通道,因此乌尔逊凹陷的勘探要着重考虑烃源岩分布、构造发育及平面位置等因素去部署^[10-12]。

图 9 为乌尔逊凹陷主力烃源岩分布特征及潜力区带预测,认为乌北洼陷西侧、乌南洼陷东侧为未来两个重要的勘探潜力带。乌尔逊北部洼陷西侧区域油源充足,除了南屯组烃源岩,还有铜钵庙组烃源岩油流的混入;乌南洼陷东侧构造带,距油源较近且在构造带与源岩区之间还不同程度地发育了局部断裂,乌 22 井的钻探发现油,进一步证实该区带为一个潜在的有利区。

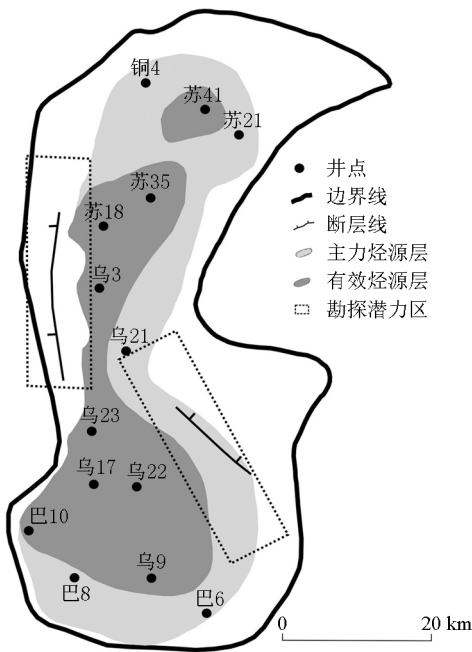


图 9 乌尔逊凹陷主力烃源岩分布及潜力区预测
Fig.9 Distribution of main source rocks and prediction of potential areas in Wuerxun Sag

7 结论

- 1) 乌尔逊凹陷从下到上发育铜钵庙组泥岩、南屯组的暗色泥页岩以及大磨拐河组的暗色泥岩,南屯组、铜钵庙组的暗色泥岩处于低成熟—成熟阶段,而大磨拐河组下段的暗色泥岩处于未成熟阶段,因此大磨拐河组基本不具有油气贡献。
- 2) 乌尔逊凹陷北部区域具有低熟油特征,而乌尔逊凹陷南部区域原油的成熟度略高,反映乌尔逊

凹陷的油源平面上具有不完全一致性。推断乌北区原油母质类型应为Ⅱ型,属于淡水—微咸水深湖相,其主力烃源岩来源于南屯组烃源岩;乌南区原油较大概率存在有机质类型差的源岩的混入,判断其为南屯组和铜钵庙组烃源岩的共同贡献。

3) 铜钵庙组泥岩和南屯组泥页岩主要生油气时间约在 130~80 Ma,即伊敏组末期至青元岗组沉积期。通过流体包裹体的均一化温度的测量,显示乌尔逊凹陷具有两期成藏:第一期为伊敏组沉积后期—青元岗组沉积早期,原油由烃岩层排出、运移注入圈闭成藏;第二期为青元岗组沉积后期构造活动使早期油藏原油重新调整分配注入就近新的圈闭成藏,在第一期成藏位置附近的构造高点重新运聚成藏。

4) 乌尔逊凹陷的勘探要着重考虑烃源岩分布、构造发育及平面位置等因素,认为乌北洼陷西侧、乌南洼陷东侧处于主力烃源岩分布区附近,且有断层发育,构成了烃源层油气运移至圈闭的优势通道,为两个重要的勘探潜力带。

参考文献 (References):

[1] 齐士龙.海拉尔油田薄差储层细分多层压裂技术[J].大庆石油地质与开发,2015,34(5):81-86.
Qi S L.Subdivided multilayer fracturing technology for the thin and poor reservoirs of hailer oilfield[J].Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing, 2015, 34(5): 81-86.

[2] 吴文祥,张海洋,李占东,等.层序地层地球化学方法在烃源岩评价中的应用——以海拉尔盆地乌尔逊凹陷为例[J].石油与天然气地质,2015,36(4):705-710.
Wu W X, Zhang H Y, Li Z D, et al. Sequence stratigraphic geochemistry and its application in evaluation of source rocks: taking Beier sag of Hailar Basin as an example[J].Oil & Gas Geology, 2015, 36(4): 705-710.

[3] 申文静.海拉尔盆地中部断陷带与外围凹陷烃源条件类比分析[J].西部探矿工程,2016,30(4):39-46.
Shi W J. Analogical analysis of hydrocarbon source conditions between central fault depression and peripheral depression in Hailaer Basin[J].West-China Exploration Engineering, 2016, 30(4): 39-46.

[4] 李娇娜,徐然,张健,等.内蒙古海拉尔盆地侏罗系烃源岩地球化学特征[J].地质与资源,2017,26(2):147-156.
Li J N, Xu R, Zhang J, et al. Geochemistry of the jurassic source rocks in hailer basin, inner Mongolia[J].Geology and Resources, 2017, 26(2): 147-156.

[5] 徐立恒,宋宝权,韩嵩,等.变尺度构造模型在地质统计学反演储层预测中的应用[J].石油学报,2019,40(2):190-196.
Xu L H, Song B Q, Han S, et al. Application of variable-scale structure modelon geostatistics inversion reservoir prediction[J].Acta Petrolei Sinica, 2019, 40(2): 190-196.

[6] Tissot B P , Pelet R , Ungerer P . Thermal history of sedimentary basins , maturation indices , and kinetics of oil and gas generation [J] . AAPG Bull . , 1987 , 71 (12) : 445 - 466 .

[7] 邬立言 , 顾信章 . 热解技术在我国生油岩研究中的应用 [J] . 石油学报 , 1986 , 7 (2) : 13 - 19 .
Wu L Y , Gu X Z . The application of pyrolysis technique in source rock research [J] . Acta Petrolei Sinica , 1986 , 7 (2) : 13 - 19 .

[8] 卢双舫 , 张敏 . 油气地球化学 [M] . 北京 : 石油工业出版社 , 2007 : 174 - 199 .
Lu S F , Zhang M . Petroleum geochemistry [M] . Beijing : Petroleum Industry Press , 2007 : 174 - 199 .

[9] 刘超英 , 闫相宾 , 徐旭辉 , 等 . 应用流体包裹体研究惠民凹陷南斜坡油气充注史 [J] . 石油天然气学报 , 2008 , 29 (4) : 507 - 510 .
Liu C Y , Yan X B , Xu X H , et al . Application of fluid inclusion to the study of hydrocarbon charge history of the south slope in the Huimin Sag [J] . Oil & Gas Geology , 2008 , 29 (4) : 507 - 510 .

[10] 崔军平 . 海拉尔盆地热演化史与油气成藏史研究 [D] . 西安 : 西北大学 , 2014 , 15 - 56 .
Cui J P . Geothermal evolution and hydrocarbon accumulation history of Hailaer Basin [D] . Xi'an : Northwest University , 2014 : 15 - 56 .

[11] 刘新颖 . 海拉尔盆地乌尔逊凹陷油气生成、运移及成藏 [D] . 大庆 : 东北石油大学 , 2016 : 10 - 30 .
Liu X Y . Hydrocarbon generation in Wuerxun Sag , Hailaer Basin : Migration and accumulation [D] . Daqing : Northeast Petroleum University , 2016 : 10 - 30 .

[12] 王成 , 张安达 . 海拉尔盆地乌尔逊—贝尔凹陷储层特征及其孔隙演化 [J] . 大庆石油地质与开发 , 2019 , 38 (5) : 151 - 159 .
Wang C , Zhang A D . Reservoir characteristics and pore evolution of Wuerxun-Beier Sag in Hailar Basin [J] . Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing , 2019 , 38 (5) : 151 - 159 .

Evolution characteristics and potential area prediction of shale in Wuerxun Sag

YANG Song-Lin¹ , LI Yan² , LIU Ya-Xuan³ , YANG Xue³ , JIANG Wen-Bo⁴

(1. Yantai Gold College , Yantai 264000 , China ; 2. School of Earth Sciences , Northeast Petroleum University , Daqing 163318 , China ; 3. Laojunmiao Oil Production Plant of Yumen Oilfield Company , PetroChina , Jiuquan 735019 , China ; 4. Exploration and Development Research Institute of Qinghai Oilfield , Dunhuang 736200 , China)

Abstract : Wuerxun Sag is an important oil-bearing area in the south of Hailaer basin , which has great exploration potential . This paper determines the main source rocks in Wuerxun Sag by oil source correlation , analyzes the development characteristics of source rocks in different regions and geochemical indicators such as organic matter abundance and type , evaluates the oil generation maturity and accumulation stage of main source rocks in Wuerxun Sag , and judges the oil and gas filling history and predicts the preferred exploration potential position by measuring the homogenization temperature of fluid inclusions . It is found that the oil source in different areas of Wuerxun Sag is not identical . The oil reservoir in the north of Wuerxun Sag is derived from the parent material of mud shale rock of Nantun formation . In the south of Wuerxun Sag , besides the mud shale of Nantun formation , there is oil flow from dark mudstone of Tongbomiao formation . Wuerxun Sag has two stages of hydrocarbon accumulation : The first stage is from the later Yimin formation to the early Qingyuangang formation ; The second stage is the late structural activity of Qingyuangang formation , which makes the early oil reservoir redistribute and inject new traps . It is considered that the west side of Wubei sag and the east side of Wunan sag are two important exploration potential zones .

Key words : Hailar ; Wuerxun area ; shale ; potential area ; inclusion

(本文编辑 : 蒋实)