

## 二连盆地优质烃源岩发育特征及成藏贡献

王建<sup>1,2</sup>, 王权<sup>2</sup>, 钟雪梅<sup>2</sup>, 董雄英<sup>2</sup>, 马学峰<sup>2</sup>, 隋丽敏<sup>2</sup>

(1. 中国矿业大学 地质学博士后流动站, 北京 100083;

2. 中国石油 华北油田分公司 勘探开发研究院, 河北 任丘 062552)

**摘要:** 二连盆地由众多小凹陷组成, 物源多、相变快且热演化程度较低, 是否发育优质烃源岩决定了油气藏的勘探方向。通过建立残余有机碳含量与氢指数相关关系, 以及不同沉积环境下有机碳含量的变化, 发现浅湖与较深湖等稳定沉积区优质烃源岩发育, 河流与滨浅湖等不稳定沉积区主要发育中—差烃源岩; 利用残余有机碳对不同沉积相带烃源岩级别进行划分, 稳定沉积区可划分出优质 [ $w(\text{TOC}) > 2\%$ ]、中等 [ $1\% < w(\text{TOC}) < 2\%$ ] 与差 [ $w(\text{TOC}) < 1\%$ ] 烃源岩, 不稳定沉积区可划分为中等 [ $w(\text{TOC}) > 1\%$ ] 与差 [ $w(\text{TOC}) < 1\%$ ] 烃源岩。同时, 依据测井并计算残余有机碳的方法划分出了各凹陷不同级别烃源岩的厚度及分布。优质烃源岩与油气藏有较好的亲缘关系, 且资源贡献率大, 占烃源岩总体积 20% 以上的优质烃源岩资源贡献率超过了 70%, 其分布区是寻找规模储量的有利区域。

**关键词:** 油气成藏; 资源预测; 优质烃源岩; 测井评价; 二连盆地

中图分类号: TE122.1<sup>1</sup>

文献标志码: A

## Characteristics of high-quality hydrocarbon source rocks and their contributions to reservoirs in the Erlian Basin

Wang Jian<sup>1,2</sup>, Wang Quan<sup>2</sup>, Zhong Xuemei<sup>2</sup>, Dong Xiongying<sup>2</sup>, Ma Xuefeng<sup>2</sup>, Sui Limin<sup>2</sup>

(1. China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China; 2. Exploration and Development

Research Institute, PetroChina Huabei Oilfield Company, Renqiu, Hebei 062552, China)

**Abstract:** The Erlian Basin consists of many sags characterized by multiple provenances, changeable phases and a low degree of thermal evolution. The identification of high-quality source rocks determines the direction of exploration efforts. By building correlations between TOC and HI, and analyzing the changes of organic carbon contents under various sedimentary circumstances, we have shown that stable sedimentary areas such as shallow lakes and relatively deep lakes commonly develop high-quality source rocks, and unstable sedimentary areas like rivers and shallow shore lakes commonly develop poor- or medium-quality source rocks. We can use TOC to classify source rock levels. The source rocks from stable sedimentary areas are divided into high ( $\text{TOC} > 2\%$ ), medium ( $1\% < \text{TOC} < 2\%$ ) and poor ( $\text{TOC} < 1\%$ ) quality source rocks. The source rocks from the unstable sedimentary areas are divided into medium ( $1\% < \text{TOC} < 2\%$ ) and poor ( $\text{TOC} < 1\%$ ) quality source rocks. Furthermore, based on TOC values calculated from well logging data, the thickness and distribution of different levels of source rocks can be ascertained. High-quality source rocks have a close relationship with oil and gas reservoirs, and are the main sources of oil to these reservoirs. The source contribution from high quality source rocks is  $> 70\%$  even though they constitute only 20% of total source rock volume. Consequently, the distribution zones of high-quality source rocks are commonly favorable areas for large scale reserves.

**Key words:** hydrocarbon reservoir forming; resource prediction; high-quality source rock; logging evaluation; Erlian Basin

随着勘探程度的提高、研究的深入,越来越多的油气地质及地球化学家倾向于认为,工业性油气

藏的主要贡献者可能是生烃凹陷中厚度不一定很大,但有机质丰度很高(类型较好),并且已经成熟

收稿日期: 2014-08-20; 修订日期: 2015-08-24。

作者简介: 王建(1972—), 男, 博士, 高级工程师, 从事石油地质综合研究。E-mail: yjy\_wangj@petrochina.com.cn。

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司科技项目(2013E-050204)和国土资源部油气资源评价及矿业权管理支撑系统建设专项(1A14YQKYQ0102)资助。

的优质烃源岩。即“优质烃源岩控藏”这一概念近年来已经逐步为勘探家所接受并使用<sup>[1]</sup>。通过秦建中、庞雄奇等众多学者的研究,无论是海相、还是陆相盆地,优质烃源岩与已发现油田均有密切的关系<sup>[2-13]</sup>。尤其是像二连盆地这类多物源、窄相带、相变快的陆相断陷盆地,油气运移距离短,“优质烃源岩控藏”将对勘探实践有更好的指导意义。

目前,对于优质烃源岩国内许多学者都已经有了相当多的研究,但在优质烃源岩的判别标准上还缺乏统一的认识<sup>[1,4,14-16]</sup>。尤其是在确定评价标准时,或以经验来判断,或判断方法和过程过于繁琐,不利于勘探家或油田实际工作者迅速作出判断。此外,优质烃源岩对成藏贡献的定量分析还有所欠缺。本文以二连盆地为例,尝试应用简便迅速的地化指标对优质烃源岩进行判识,并对其贡献率进行量化研究。

## 1 优质烃源岩的识别方法

二连盆地烃源岩主要发育在腾格尔组腾一段( $K_1bt_1$ )与阿尔善组( $K_1ba$ ),且受热演化程度控制,真正有效烃源岩主要在腾一下段( $K_1bt_{1下}$ )到阿尔善组地层<sup>[17-18]</sup>。烃源岩有机质丰度普遍较高,已经有油气发现的凹陷残余有机碳多在 1% 以上,但有机质类型相对较差,一般以 II 型母质为主。有机质热演化程度偏低,虽在腾一下段进入成熟门限( $R_o > 0.5\%$ ),但除阿南、吉尔嘎朗图、乌里雅斯太等少数埋深较大的凹陷阿尔善组下部  $R_o$  能达到或超过 1.0% 外,其他凹陷一般都小于 1.0%,且多在 0.8% 以下。因此,二连盆地总体显示出“丰度高、类型差、热演化程度低”的特征,而热演化程度较低已成为油气勘探最主要的制约因素。热模拟实验证实(图 1),同等热演化条件下,丰度高、类型好

的优质烃源岩产油率要大于丰度与类型较差的烃源岩,在成熟度较低时,优质烃源岩的产油率更是明显大于较差烃源岩。对于二连盆地这类热演化程度较低的盆地,如何快速识别出优质烃源岩将是指导勘探的有效手段。

根据中华人民共和国石油天然气行业标准“陆相烃源岩地球化学评价方法(SY/T 5735-1995)”,对烃源岩质量的评价有多项指标,其中,有机碳(TOC)含量评价有机质丰度、氢指数( $I_H$ )评价有机质类型为最快捷、最常用的方法。结合行业标准及热模拟实验结果(图 1), $w(\text{TOC}) > 2\%$ 、 $I_H \geq 500 \text{ mg/g}$  的烃源岩为腐泥型干酪根,产油率最高,可划分为优质烃源岩(I 类); $1.0\% < w(\text{TOC}) \leq 2.0\%$ 、 $150 \leq I_H < 500 \text{ mg/g}$  的烃源岩为腐泥、腐植混合型干酪根,可划分为中等烃源岩(II 类); $w(\text{TOC}) \leq 1.0\%$ 、 $I_H < 150 \text{ mg/g}$  的烃源岩为腐植型干酪根,可划分为差烃源岩(III 类)。此种划分烃源岩级别的方式,兼顾到有机质丰度与有机质类型的优劣。

近年来,通过对二连盆地主要富油凹陷烃源岩的精细研究,发现在各凹陷中普遍存在一套含大量云灰质的“特殊岩性段”,分布层位集中在腾一下段—阿四段地层。有机质丰度较高, $w(\text{TOC})$  在 1.4%~2.92% 之间, $S_1+S_2$  在 2.49~15.56 mg/g 之间,尤其是可溶有机质部分含量较高,沥青“A”全部在 0.05% 以上,多数大于 0.1%。如果以残余有机碳和氢指数建立相关关系会发现(图 2a),当  $w(\text{TOC}) > 2\%$  时,氢指数多在 500 mg/g 以上,可归为 I 类烃源岩,即优质烃源岩范围。这类烃源岩产油率很高,上述热模拟实验 I 型干酪根即是用此类烃源岩的模拟结果(图 1)。而当  $w(\text{TOC}) < 2\%$  时,氢指数在 500 mg/g 以下,且随 TOC 的降低出现快速降低的趋势,可归为 II 类烃源岩。上述 II 类烃源岩模拟实验中产油率明显较低,尤其在  $R_o < 0.8\%$  时,其与 I 类烃源岩相差 2 倍以上(图 1)。非“特殊岩性段”发育地层的烃源岩即使  $w(\text{TOC}) > 2\%$ ,甚至达到 4%,氢指数依然在 500 mg/g 以下,达不到 I 类烃源岩的标准(图 2b)。造成上述差别的主要原因为母源输入与保存环境的差异。

二连盆地各凹陷有机质母质来源以高等植物输入较多,有机质类型好坏与沉积环境密切相关,优质烃源岩沉积环境主要为较深湖相或较稳定的浅湖相沉积区,埋藏历史中在腐泥化作用下,促进了干酪根中 H 元素的富集,致使 H/C 原子比值提高,使得母质变好,形成偏腐泥型干酪根<sup>[19]</sup>,因而

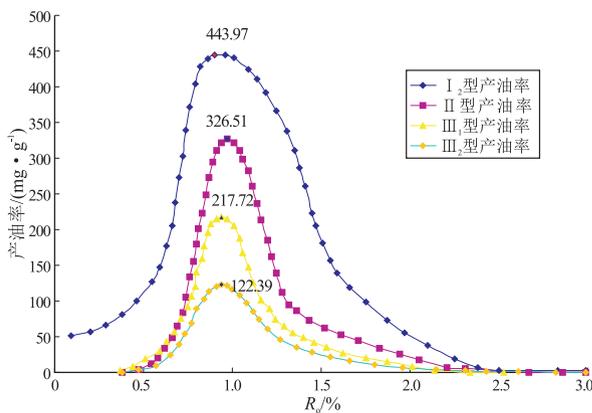


图 1 二连盆地泥岩产油率曲线

Fig.1 Oil yield ratio of mudstones from the Erlian Basin

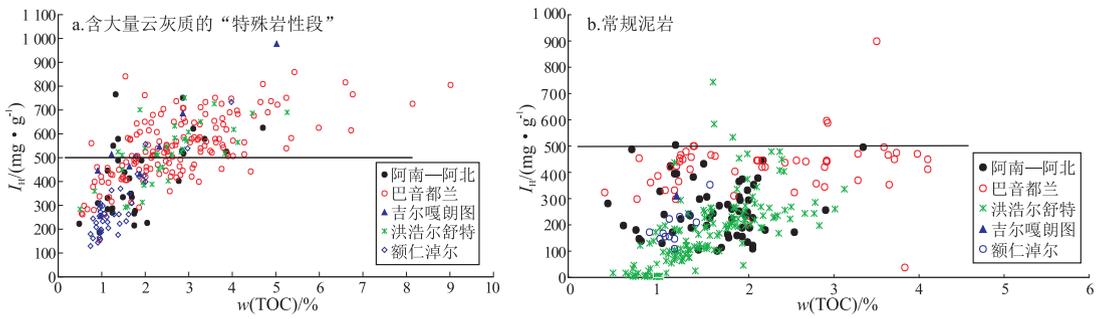


图2 二连盆地残余有机碳与氢指数关系

Fig.2 TOC vs. HI of the Erlian Basin

产烃率高。而沉积环境为不稳定的河流—滨浅湖相沉积区,有机质类型总体偏差,产烃率低。因此,在判断是否为优质烃源岩时,不仅要看残余有机碳的含量,更为重要的是有机质类型的优劣。此外,不同沉积环境暗色泥岩发育程度及有机碳含量是有较大差别的(表1)。浅湖—较深湖区暗色泥岩占地层90%以上,  $w(\text{TOC}) > 2\%$ ; 其他沉积相带的暗色泥岩有机碳一般小于2%。有机碳含量与沉积环境的对应关系较好地体现出优质烃源岩发育的主要沉积环境。湖沼相暗色泥岩有机碳含量也很高,达到3%,但此类沉积环境发育的是一套腐植型烃源岩,有机质类型为Ⅲ型。因而,划分不同级别烃源岩时,首先要确定烃源岩发育的沉积相带,在浅湖—较深湖等有利相带时,由于氢指数与有机碳具备良好的对应关系(图2),可用有机碳含量划分不同级别烃源岩: $w(\text{TOC}) > 2\%$ 可划为优质烃源岩。如果处于河流—滨浅湖沉积相带,则不能简单用有机碳来识别优质烃源岩。

这里优质烃源岩的判别方法主要是应用于成熟度较低的烃源岩。此时,排油量对有机碳及生烃潜量影响较小,残余有机碳和氢指数可近似于原始有机碳和原始氢指数。当烃源岩已经进入到生油高峰或更高的热演化阶段,则需要对有机碳及氢指数进行恢复,才能对其进行判别。恢复方法前人已经做过大量研究<sup>[20-23]</sup>,此处不再赘述。

## 2 优质烃源岩发育特征

### 2.1 优质烃源岩刻画方法

烃源岩的分布具有很强的非均质性<sup>[24-26]</sup>。优质烃源岩并非连续大段分布,而是与中、差烃源岩成互层状分布。受到取样条件限制,常规的有机地球化学分析方法很难得到连续的有机碳和氢指数的分析结果。近年来,国内外许多学者利用了测井信息与地球化学分析相结合,提出了测井信息评价烃源岩的方法<sup>[27-31]</sup>。根据前人提出的烃源岩评价方法,首先,确定优质烃源岩发育的有利沉积相带;

表1 二连盆地不同沉积相带烃源岩有机质丰度

Table 1 Abundance of organic matter in source rocks from different sedimentary facies in the Erlian Basin

沉积相带		泥岩占地层/%	暗色泥岩占地层/%	有机碳含量/%		统计点数 相单元/井数
相	亚相			$K_1bt$	$K_1ba$	
洪冲积	洪冲积扇	4.0	0			5/4
	冲积平原	85.1	5.0	0.6(0.5~0.8)	0.6(0.5~0.8)	19/4
河流	(未分)	33.0	15.75	0.7(0.5~1.0)	0.7(0.5~1.0)	34/34
	河沼	69.0	48.5	1.0(0.5~1.5)	1.0(0.5~1.5)	19/5
三角洲	三角洲平原			1.0(0.5~1.5)	1.0(0.5~1.5)	
	三角洲前缘	50.2	28~32.68			63/25
	前三角洲	82.0		1.3(1.0~2.0)	1.3(1.0~2.0)	3/2
湖泊	滨浅湖	80.3	61.0~70.32	1.5(1.0~2.0)	1.5(1.0~2.0)	26/16
	滨浅湖   湖滩	56.2		1.0(0.7~1.5)	1.0(0.7~1.5)	6/4
	浅—较深湖	90.0	90.0	2.0(1.0~3.5)	2.0(1.0~3.5)	4/7
	较深湖	95.0	95.0	3.0(2.0~8.0)	3.0(2.0~8.0)	2/7
泊	水下扇	72.3	32.68~65	1.5(0.5~3.0)	1.5(0.5~3.0)	3/47
	湖沼	89.4	89.4	3.0(2.0~8.0)	3.0(2.0~8.0)	3/2

注:表中数据意义为:平均值(最小值~最大值)。

之后,采用已经在冀中、二连探区应用多年且效果较好的烃源岩测井—有机地球化学分析一体化评价方法,利用推导出的公式: $w(\text{TOC}) = k\Delta\lg R_0 + \Delta\text{TOC}$ 来计算残余有机碳值,进而识别优质烃源岩<sup>[28]</sup>。式中: $k$ 为 $\Delta\lg R_0$ 和 $w(\text{TOC})$ 之间线性关系直线的斜率; $\Delta\text{TOC}$ 为泥岩总有机碳含量的背景值。运用此种方法计算了二连盆地多个凹陷残余有机碳值的纵向分布特征。

从残余有机碳计算结果与实测残余有机碳分析值对比来看,符合率较高(表 2)。阿密 2 井为连续取心段的实测值,对比效果最有代表性。由表 2 可见,有机碳大于 2% 的实测值占 36.4%,计算值占 30.3%;有机碳在 1%~2% 之间的实测值占 42.4%,计算值占 48.5%;有机碳在 1% 以下的实测值占 21.2%,计算值占 21.2%。计算结果与实测结果符合率较高,能够满足要求。通过测井评价源岩的方法,残余有机碳大于 2% 的优质烃源岩及厚度可较好地从中—差烃源岩中分离出来,达到了优质烃源岩识别和评价的目的。

### 2.2 优质烃源岩分布特征

通过测井评价烃源岩的方法,对各凹陷大量探井进行计算并结合沉积相分布特征,对优质烃源岩在二连盆地各凹陷的分布特征有了较为明确的认识。受沉积相带控制,优质烃源岩多发育在沉积中心浅湖—较深湖相发育区(图 3)。浅湖—较深湖沉积环境发育的阶段通常是湖平面相对升高的时期,从层序地层角度来说,主要是湖进体系域发育

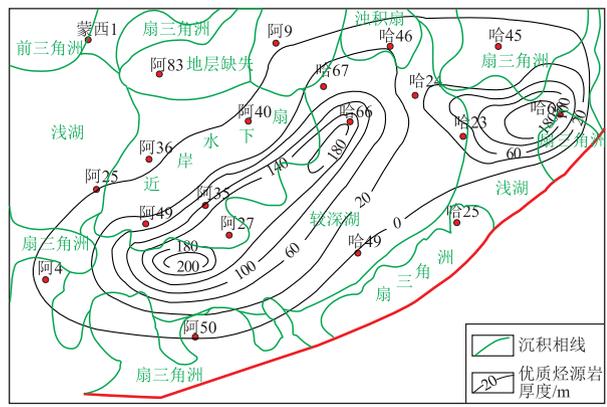


图 3 二连盆地阿南凹陷腾一下段优质烃源岩与沉积相分布示意

Fig.3 Favorable source rocks and sedimentary facies of the lower section of the first member of Teng'er Formation in the Anan Sag of Erlian Basin

的时期,是优质烃源岩发育的有利环境<sup>[4]</sup>。根据二连盆地 7 个主要富油凹陷统计结果,处于成熟门限之下的腾一下段和阿四段地层,优质烃源岩厚度在 20~100 m 之间。虽然单个凹陷优质烃源岩分布面积不大,但由于二连盆地由众多小凹陷组成,累计面积比较大,7 个主要富油凹陷优质烃源岩累计面积超过 1 500 km<sup>2</sup>。

## 3 优质烃源岩的贡献

### 3.1 油源对比

以往研究认为二连盆地各凹陷油气来源主要为腾一下和阿尔善组烃源岩,已发现油藏也主要位

表 2 二连盆地阿密 2 井计算 TOC 与实测 TOC 对比

Table 2 Calculated and measured TOC values from the well Ami2 in the Erlian Basin

井深/m	实测 TOC/%	计算平均 TOC/%	井深/m	实测 TOC/%	计算平均 TOC/%
1542.69~1544.04	2.25	2.51	1567.53~1568.14	1.13	1.22
1544.20~1545.96	1.92	2.54	1568.66~1568.85	1.37	1.95
1546.06~1546.98	3.70	1.46	1568.93~1568.96	1.17	1.49
1547.36~1548.83	2.06	2.33	1570.25~1570.79	1.73	1.64
1549.74~1550.40	2.56	2.12	1571.81~1572.64	1.90	1.98
1551.01~1551.37	2.05	1.39	1573.28~1574.14	0.75	0.80
1552.76~1554.46	2.62	1.27	1574.95~1575.32	2.32	2.01
1556.10~1556.47	1.75	1.70	1576.22~1576.50	0.52	0.10
1556.52~1557.16	2.15	2.33	1577.09~1578.12	1.28	0.77
1557.89~1558.45	1.33	1.55	1578.62~1579.02	0.22	0.45
1558.75~1558.99	1.73	1.59	1579.46~1580.18	0.34	0.66
1559.80~1561.24	2.66	2.16	1583.31~1584.09	1.51	1.37
1561.72~1561.88	1.88	1.68	1584.09~1584.62	1.02	0.70
1562.42~1563.59	2.54	2.98	1584.66~1585.05	0.97	0.79
1564.00~1565.06	1.31	1.62	1585.44~1585.71	1.18	1.16
1565.43~1565.64	2.15	2.42	1585.84~1586.08	1.02	1.15
1565.85~1566.55	2.53	2.34			

于腾一下和阿四段地层,属于自生自储油藏。但由于烃源岩研究工作不够细致,油气源对比工作相对较粗,无法体现优质烃源岩与油藏的关系。近年来,通过对二连盆地各凹陷补取岩心与原油样品重新分析发现,大多数油藏与优质烃源岩亲缘关系较好,尤其是原油样品(图4,5)。

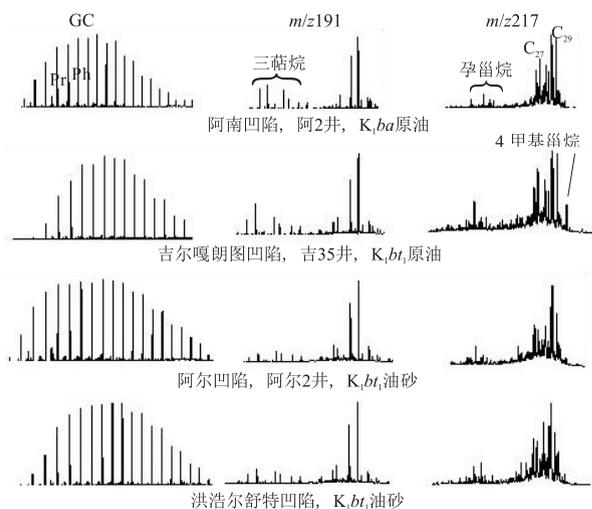


图4 二连盆地原油、油砂饱和烃色谱、质谱图

Fig.4 Gas chromatograms and GC-MS mass fragmentograms of saturated hydrocarbons in crude oils and oil sands from the Erlian Basin

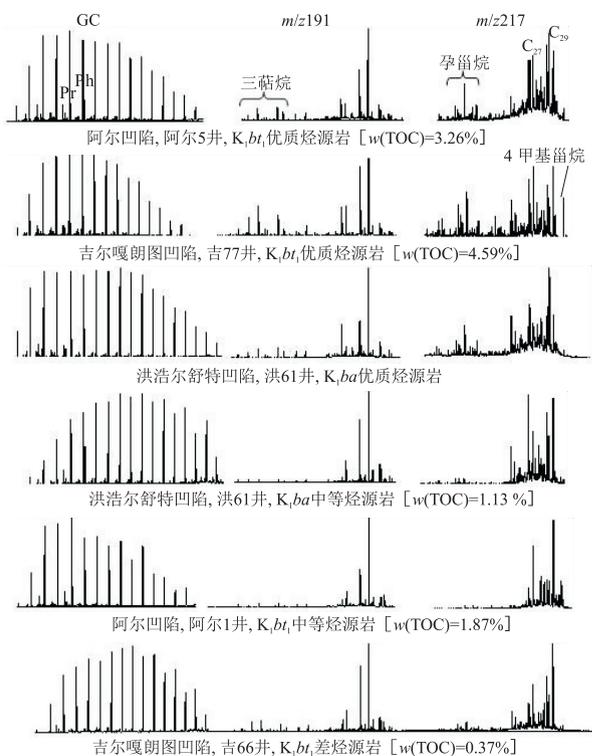


图5 二连盆地不同级别烃源岩饱和烃色谱、质谱图

Fig.5 Gas chromatograms and GC-MS mass fragmentograms of saturated hydrocarbons in different source rocks in the Erlian Basin

应用饱和烃色谱、色质各项参数进行油源对比,二连盆地原油 Pr/Ph 一般都小于 1,说明其母源沉积环境为偏还原性的环境;含有一定的三萜烷及孕甾烷,高等植物含量较多,C<sub>27</sub>胆甾烷含量低于 C<sub>29</sub>胆甾烷,个别凹陷如吉尔嘎朗图凹陷原油明显含有 4 甲基甾烷(图 4)。优质烃源岩与之相似性最好,Pr/Ph 小于 1,含有一定的三萜烷及孕甾烷,C<sub>27</sub>胆甾烷含量低于 C<sub>29</sub>胆甾烷,吉尔嘎朗图凹陷优质烃源岩明显含有 4 甲基甾烷;中、差烃源岩除 C<sub>27</sub>胆甾烷含量低于 C<sub>29</sub>胆甾烷外,Pr/Ph 一般大于 1,不含三萜烷,孕甾烷和 4 甲基甾烷含量较低,与原油亲缘关系较差(图 5)。此外,应用代表氧化还原性的 Pr/Ph 与代表水体盐度的  $\gamma$ -蜡烷/C<sub>31</sub>藿烷建立相关关系图也能较好地地区分不同级别烃源岩与油藏的关系。图 6 显示,油砂、原油 Pr/Ph 基本在 1 以下,总体相对比较集中,且与优质烃源岩分布比较接近。当然,一些成熟度较高的中—差烃源岩也并非不能成藏,像乌里雅斯太凹陷基本不发育优质烃源岩,但发育厚度较大的中—差烃源岩 [w(TOC)<2%],这种高成熟的厚层中—差烃源岩可以以数量来弥补质量上的不足,也可形成具工业价值的油气藏。

### 3.2 资源预测

根据以上烃源岩的划分标准,并应用测井评价烃源岩的方法,对二连盆地 3 类烃源岩厚度分布图重新刻画,以此为基础重新计算油气资源量,并对 3 类烃源岩的资源贡献率(生烃量与总生烃量的比值)进行评估。计算结果表明:优质烃源岩厚度往往没有中—差烃源岩大,但其资源贡献率却占据很大的比例。像阿南凹陷,优质烃源岩只占烃源岩总体积的 22%,但资源贡献比例达到了 77%。而在

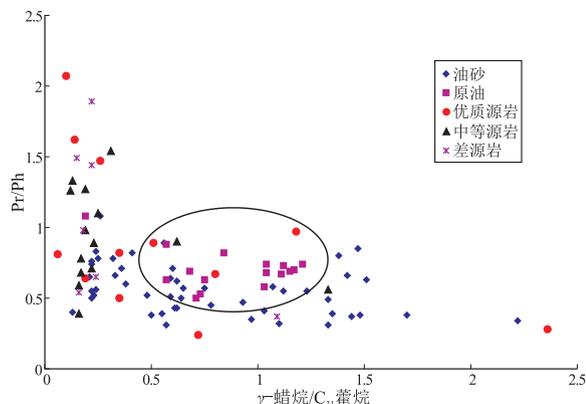


图6 二连盆地不同质量烃源岩、原油 Pr/Ph 和  $\gamma$ -蜡烷/C<sub>31</sub>藿烷关系

Fig.6 Pr/Ph vs. gammacerane/C<sub>31</sub> hopane source rocks and crude oils from the Erlian Basin

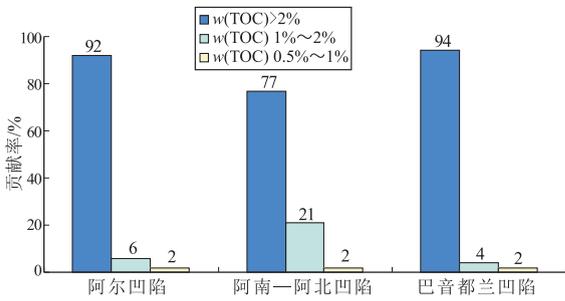


图 7 二连盆地各凹陷不同质量烃源岩资源贡献率

Fig.7 Contribution of different source rocks in the Erlian Basin

阿尔与巴音都兰凹陷,这类优质烃源岩占烃源岩总体积达到 40%左右,其资源贡献率超过了 90% (图 7)。可见优质烃源岩在二连盆地这类母源输入高等植物较多、热演化程度相对较低的各凹陷中,对油藏分布的控制作用非常明显。

## 4 结论

(1)二连盆地属于多物源、窄相带、相变快的陆相断陷盆地,优质烃源岩主要发育在靠近湖盆中心的较深湖—深湖等稳定沉积相带,而靠近盆缘的河流与滨浅湖等水体较为动荡的地区,一般发育中等—差烃源岩。根据残余有机碳与氢指数的关系,有利相带可划分出优质 [ $w(\text{TOC}) > 2\%$ ]、中等 [ $1\% < w(\text{TOC}) < 2\%$ ]与差 [ $w(\text{TOC}) < 1\%$ ]烃源岩。对于不利相带,可划分为中等 [ $w(\text{TOC}) > 1\%$ ]与差 [ $w(\text{TOC}) < 1\%$ ]烃源岩。

(2)已发现油气藏多与优质烃源岩具备较好的亲缘关系。通过测井评价烃源岩的方法,可分别刻画优、中、差 3 类烃源岩的厚度及分布特征。优质烃源岩总体厚度不大,但资源贡献率较高,占烃源岩总体积 20%以上的优质烃源岩,其资源贡献率超过了 70%,是油气藏的主要贡献者,其分布区是寻找油气藏的有利地区。

## 参考文献:

[1] 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.  
Lu Shuangfang, Ma Yanling, Cao Ruicheng, et al. Evaluation criteria of high-quality source rocks and its applications: taking the Wuersun Sag in Hailaer Basin as an example[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2012, 37(3): 535-544.

[2] 秦建中,申宝剑,陶国亮,等.优质烃源岩成烃生物与生烃能力动态评价[J].石油实验地质,2014,36(4):465-472.  
Qin Jianzhong, Shen Baojian, Tao Guoliang, et al. Hydrocarbon-forming organisms and dynamic evaluation of hydrocarbon generation capacity in excellent source rocks[J]. Petroleum Geology & Experi-

ment, 2014, 36(4): 465-472.

[3] 倪春华,周小进,包建平,等.西非里奥穆尼盆地油气成藏条件及勘探方向[J].石油实验地质,2014,36(5):583-588.  
Ni Chunhua, Zhou Xiaojin, Bao Jianping, et al. Petroleum accumulation conditions and exploration direction of Rio Muni Basin, West Africa[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(5): 583-588.

[4] 侯杰,张善文,肖建新,等.济阳坳陷优质烃源岩特征与隐蔽油气藏的关系分析[J].地质学报,2008,15(2):137-146.  
Hou Dujie, Zhang Shanwen, Xiao Jianxin, et al. The excellent source rocks and accumulation of stratigraphic and lithologic traps in the Jiyang depression, Bohai Bay Basin, China[J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(2): 137-146.

[5] 庞雄奇,郭永华,姜福杰,等.渤海海域优质烃源岩及其分布预测[J].石油与天然气地质,2009,30(4):393-398.  
Pang Xiongqi, Guo Yonghua, Jiang Fujie, et al. High-quality source rocks and their distribution prediction in the Bohai Sea waters[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(4): 393-398.

[6] 王建,马顺平,罗强,等.渤海湾盆地饶阳凹陷烃源岩再认识与资源潜力分析[J].石油学报,2009,30(1):51-56.  
Wang Jian, Ma Shunping, Luo Qiang, et al. Recognition and resource potential of source rocks in Raoyang sag of Bohai bay basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(1): 51-56.

[7] 秦建中,申宝剑,腾格尔,等.不同类型优质烃源岩生排油气模式[J].石油实验地质,2013,35(2):179-186.  
Qin Jianzhong, Shen Baojian, Tenger, et al. Hydrocarbon generation and expulsion pattern of different types of excellent source rocks. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(2): 179-186.

[8] 李威,文志刚.鄂尔多斯盆地马岭地区延长组长 7 烃源岩特征与分布[J].断块油气田,2014,21(1):24-27.  
Li Wei, Wen Zhigang. Characteristics and distribution of Chang 7 source rocks of Yangchang Formation in Maling Area of Ordos Basin[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2014, 21(1): 24-27.

[9] 杨华,张文正,刘显阳,等.优质烃源岩在鄂尔多斯低渗透富油盆地形成中的关键作用[J].地球科学与环境学报,2013,35(4):1-9.  
Yang Hua, Zhang Wenzheng, Liu Xianyang, et al. Key role of high-quality source rocks on the formation of low-permeability oil-rich reservoirs in Ordos Basin[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2013, 35(4): 1-9.

[10] 张善文.准噶尔盆地哈拉阿拉特山地区风城组烃源岩的发现及石油地质意义[J].石油与天然气地质,2013,34(2):145-152.  
Zhang Shanwen. Identification and its petroleum geologic significance of the Fengcheng Formation source rocks in Hala'alt area, the northern margin of Junggar Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(2): 145-152.

[11] 刘玉华,张建丽.松南新区重点断陷九佛堂组烃源岩影响因素研究[J].断块油气田,2014,21(5):555-559.  
Liu Yuhua, Zhang Jianli. Influencing factor of Jiufutang Formation hydrocarbon source rock for important fault depression in new exploration area of southern Songliao Basin[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2014, 21(5): 555-559.

[12] 冯冲,邹华耀,郭彤楼,等.川东北及邻区上二叠统吴家坪组

- 烃源岩评价[J].地球科学与环境学报,2013,35(4):18-29.  
Feng Chong,Zou Huayao,Guo Tonglou,et al.Evaluation of source rocks in Upper Permian Wujiaping Formation of northeast Sichuan and its adjacent Area[J].Journal of Earth Sciences and Environment,2013,35(4):18-29.
- [13] 梁钰,侯读杰,张金川,等.海底热液活动与富有机质烃源岩发育的关系:以黔西北地区下寒武统牛蹄塘组为例[J].油气地质与采收率,2014,21(4):28-32.  
Liang Yu,Hou Dujie,Zhang Jinchuan,et al.Hydrothermal activities on the seafloor and evidence of organic-rich source rock from the lower Cambrian Niutitang formation, northwestern Guizhou[J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency,2014,21(4):28-32.
- [14] 秦建中,腾格尔,付小东,等.海相优质烃源层评价与形成条件研究[J].石油实验地质,2009,31(4):366-378.  
Qin Jianzhong,Tenger,Fu Xiaodong,et al.Study of forming condition on marine excellent source rocks and its evaluation[J].Petroleum Geology & Experiment,2009,31(4):366-378.
- [15] 郑红菊,董月霞,朱光有,等.南堡凹陷优质烃源岩的新发现[J].石油勘探与开发,2007,34(4):385-342.  
Zheng Hongju,Dong Yuexia,Zhu Guangyou,et al.High-quality source rocks in Nanpu sag[J].Petroleum Exploration & Development,2007,34(4):385-342.
- [16] 刘新颖,邓宏文,邸永香,等.海拉尔盆地乌尔逊凹陷南屯组优质烃源岩发育特征[J].石油实验地质,2009,31(1):68-73.  
Liu Xinying,Deng Hongwen,Di Yongxiang,et al.High quality source rocks of Nantun formation in Wuexun depression, the Hailaer Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2009, 31(1):68-73.
- [17] 费宝生,祝玉衡,邹伟宏,等.二连裂谷盆地群油气地质[M].北京:石油工业出版社,2001.  
Fei Baosheng,Zhu Yuheng,Zou Weihong,et al.Petroleum geology of rift group in Erlian Basin[M].Beijing:Petroleum Industry Press, 2001.
- [18] 张成林,黄志龙,卢学军,等.二连盆地巴音都兰凹陷油气资源空间分布研究[J].断块油气田,2014,21(5):550-554.  
Zhang Chenglin,Huang Zhilong,Lu Xuejun,et al.Research on spatial distribution of petroleum resources in Bayindulan Sag of Erlian Basin [J]. Fault - Block Oil and Gas Field, 2014, 21(05):550-554.
- [19] 杜金虎.二连盆地隐蔽油藏勘探[M].北京:石油工业出版社,2003.  
Du Jinhua.Exploration of subtle oil reservoir in Erlian Basin[M]. Beijing:Petroleum Industry Press,2003.
- [20] 刘庆,张林晔,王茹,等.湖相烃源岩原始有机质恢复与生排烃效率定量研究:以东营凹陷古近系沙河街组四段优质烃源岩为例[J].地质论评,2014,60(4):877-883.  
Liu Qing,Zhang Linye,Wang Ru,et al.Recovery of original organic matter content and quantitatively study of generation and expulsion efficiency for lacustrine hydrocarbon source rocks:a case study of the excellent source rocks of the palaeocene E<sub>2-3,54</sub>,Dongying Sag[J]. Geological Review,2014,60(4):877-883.
- [21] 秦建中,金聚畅,刘宝泉.海相不同类型烃源岩有机质丰度热演化规律[J].石油与天然气地质,2005,26(2):177-184.  
Qin Jianzhong,Jin Juchang,Liu Baoquan.Thermal evolution pattern of organic matter abundance in various marine source rocks [J]. Oil & Gas Geology,2005,26(2):177-184.
- [22] 陈学国.准噶尔盆地石炭系高-过成熟烃源岩有机质丰度恢复研究新进展[J].新疆地质,2013,31(4):324-327.  
Chen Xueguo.Restoration of organic abundance for high-over mature source rocks of carboniferous in Junggar Basin [J]. Xinjiang Geology,2013,31(4):324-327.
- [23] 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):82-93.  
Jiang Fujie,Pang Xiongqi,Jiang Zhenxue,et al.Restitution of organic abundance of the hydrocarbon source rocks in the Wuexun and the Beier Sags, the Hailaer Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment,2008,30(1):82-93.
- [24] Carroll A R,Bohacs K M.Lake-type controls on petroleum source rock potential in nonmarine basins [J].AAPG Bulletin,2001,85(6):1033-1053.
- [25] Derenne S,Largeau C,Brukner-Wein A,et al.Origin of variations in organic matter abundance and composition in a lithologically homogeneous maar-type oil shale deposit [J]. Organic Geochemistry,2000,31(9):787-798.
- [26] 朱光有,金强.烃源岩的非均质性及其研究:以东营凹陷牛38井为例[J].石油学报,2002,23(5):34-39.  
Zhu Guangyou,Jin Qiang.Study on source rock heterogeneity:a case of Niu-38 Well in Dongying depression [J]. Acta Petrolei Sinica,2002,23(5):34-39.
- [27] 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.
- [28] 金涛,高日胜,高彩霞,等.从烃源岩测井评价结果看冀中坳陷饶阳凹陷勘探前景[J].天然气地球科学,2010,21(3):406-412.  
Jin Tao,Gao Risheng,Gao Caixia,et al.Suggestion of exploration prospect in Raoyang sag of Jizhong Depression from the logging evaluation results of source rock [J]. Natural Gas Geoscience, 2010,21(3):406-412.
- [29] 周建林.近海陆架盆地优质烃源岩的测井评价展望[J].海相油气地质,2009,14(2):52-59.  
Zhou Jianlin.Prospect of logging evaluation of excellent hydrocarbon source rocks in Offshore Shelf Basins in China[J].Marine Origin Petroleum Geology,2009,14(2):52-59.
- [30] 朱光有,金强,张林晔.用测井信息获取烃源岩的地球化学参数研究[J].测井技术,2003,27(2):104-109.  
Zhu Guangyou,Jin Qiang,Zhang Linye.Using log information to analyse the geochemical characteristics of source rocks in Jiyang Depression [J]. Well Logging Technology, 2003,27(2):104-109.
- [31] 张志伟,张龙海.测井评价烃源岩的方法及其应用效果[J].石油勘探与开发,2000,27(3):84-87.  
Zhang Zhiwei,Zhang Longhai.A method of source rock evaluation by well-logging and its application result [J]. Petroleum Exploration & Development,2000,27(3):84-87.