

# 内蒙古西部额济纳旗及邻区二叠系埋汗哈达组 烃源岩生物标志化合物的特征及意义

魏建设, 卢进才, 陈高潮, 李金超

WEI Jian-she, LU Jin-cai, CHEN Gao-chao, LI Jin-chao

中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054

*Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China*

**摘要:**通过对正构烷烃、类异戊二烯烷烃、萜烷、甾烷等生物标志化合物的研究,对额济纳旗及其邻区二叠系埋汗哈达组的沉积环境、烃源岩干酪根类型、成熟度等进行了评价。烃源岩 Pr/Ph 绝大部分小于 1,显示植烷优势,表明研究区二叠系埋汗哈达组沉积环境为还原—强还原环境,有利于有机质的富集,物源来自于陆源高等植物和水生生物,且以水生生物输入占优势;利用 Pr/nC<sub>17</sub>-Ph/nC<sub>18</sub>、C<sub>27</sub>-C<sub>28</sub>-C<sub>29</sub> 甾烷等生物标志化合物的关系评价区内埋汗哈达组烃源岩有机质类型以 <sub>2</sub> 型为主;对 OEP、萜烷、C<sub>29</sub> 甾烷等参数分析表明,额济纳旗及其邻区二叠系埋汗哈达组烃源岩处于成熟—高成熟阶段,有利于油气的生成。

**关键词:**额济纳旗及其邻区;二叠系埋汗哈达组;烃源岩;生物标志化合物

中图分类号:P534.46; P618.13

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2011)06-0904-07

**Wei J S, Lu J C, Chen G C, Li J C. Biomarker characteristics of Permian Maihanhada Formation hydrocarbon source rocks in Ejin Banner and its vicinities, western Inner Mongolia, and their significance. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30 (6):904-910**

**Abstract:** The accuracy of the surface outcrop hydrocarbon source rock evaluation result by using the traditional method is doubtful in the lower exploration degree area. Based on a study of such biomarkers as n-alkanes, isoprenoid alkenes, terpane and sterane, the authors evaluated the sedimentary environment, source rock kerogen type and maturity of Permian Maihanhada Formation in Ejin Banner and its vicinities. Pr/Ph ratios of most source rocks are lower than 1, and the phytane advantage is distinct, which shows that sedimentation of Permian Maihanhada Formation occurred in a reducing—highly reducing environment, which was beneficial for organic concentration, and the provenance was terrigenous higher plants and aquatic organisms, with the obvious input advantage of aquatic organisms. The relationship between Pr/nC<sub>17</sub>-Ph/nC<sub>18</sub> and C<sub>27</sub>-C<sub>28</sub>-C<sub>29</sub> sterane shows that the kerogen of Maihanhada Formation source rocks was mainly of the <sub>2</sub> type. The parameters of OEP, terpane and C<sub>29</sub> sterane show that the source rock of Permian Maihanhada Formation was mature—highly mature in Ejin Banner and its vicinities, which was beneficial for hydrocarbon generation.

**Key words:** Ejin Banner and its vicinities; Permian Maihanhada Formation; hydrocarbon source rock; biomarker

国土资源大调查项目《西北地区中小盆地群油气资源远景调查》在额济纳旗及邻区石炭系—二叠系发现 5 套可能的烃源岩,其中二叠系埋汗哈达组(西部为双堡塘组)烃源岩具有分布广、厚度大、有机质丰度中等—高、演化程度适中的特点。由于研究区

油气勘探程度较低,仍处于油气勘探的初期阶段,目前的烃源岩评价主要采集了地表露头的样品。受风化作用的影响,部分传统的烃源岩评价标准已不适合地表风化样品的评价。生物标志化合物受风化作用的影响较小,本文以额济纳旗及其邻区二叠系埋

收稿日期:2011-03-23;修订日期:2011-04-22

资助项目:中国地质调查局国土资源大调查项目《西北地区中小盆地群油气资源远景调查》(编号:1212010733506)

作者简介:魏建设(1981—),男,工程师,从事石油天然气勘探与开发研究。E-mail:upcwjs@126.com

汗哈达组烃源岩为例,开展生物标志化合物特征的研究,揭示其油气地球化学意义,对油气勘探初期烃源岩的评价有一定的借鉴意义。

本文根据二叠系埋汗哈达组沉积时期的沉积环境和物质来源定性分析烃源岩的有机质丰度。区内样品受地表风化作用的影响,用许多常规评价烃源岩有机质类型的判别方法,如干酪根元素  $H/C-O/C$  和氢指数-最大热解温度( $T_{max}$ )等,难以进行有机质类型评价<sup>[1]</sup>。干酪根 C 同位素受热演化作用的影响显著偏大,亦不宜作为干酪根类型的评价指标。氯仿沥青“A”族组分受演化程度较高的影响,饱和烃含量偏大,评价的干酪根类型偏好。生物标志化合物作为干酪根类型评价的指标越来越受到重视。海相地层中镜质体缺乏,所测  $R_o$  为镜质组或沥青的反射率,影响烃源岩有机质成熟度的评价精度,生物标志化合物作为成熟度分析指标得到越来越广泛的应用。

## 1 地层沉积特征

额济纳旗及邻区二叠系埋汗哈达组(北山地区为双堡塘组)年代地层相当于隆林阶—罗甸阶,分布在杭乌拉—芒罕超克及其以西地区。雅干—杭乌拉地区该组分为 3 个岩性段,下段为以泥页岩为主的碎屑岩,具有粗—细—粗的粒度变化特征,中部发育多套厚层泥页岩,为良好的烃源岩,厚 800~900m;中段为生物碎屑灰岩、泥晶灰岩、砂屑灰岩夹硅质岩与薄层砂岩,厚 500~600m;上段为石英砂岩、泥质粉砂岩与灰色泥岩夹泥灰岩、泥晶灰岩,厚 300~400m<sup>[1-3]</sup>。埋汗哈达组在额济纳旗温图高勒苏木雅干东南的埋汗哈达地区和阿拉善右旗杭乌拉地区出露较全<sup>[3]</sup>。

二叠世隆林阶—罗甸阶早期,水体变浅,埋汗哈达组底部发育一套滨岸亚相沉积的砾岩,之后水体加深,北部为大面积浅海陆棚亚相沉积,局部发

育碳酸盐台地相,南部滨岸亚相的沉积范围较晚石炭世小独山阶—早二叠世紫松阶要大,芒罕超克剖面为以滨岸亚相砂砾岩为主的粗碎屑岩。雅干地区埋汗哈达剖面和杭乌拉西南剖面二叠系埋汗哈达组为浅海相沉积<sup>[3]</sup>。

## 2 烃源岩发育特征

埋汗哈达组呈东西向分布,是区内暗色泥页岩分布最广泛的层段,暗色泥页岩占碎屑岩厚度的 35.6%~47.7%(表 1)。向南至芒罕超克剖面以砂岩为主,砂岩在剖面上集中分布在中下段,单层厚度可达 50m 以上。

根据 127 件烃源岩样品的分析结果,埋汗哈达地区埋汗哈达组暗色泥岩有机碳(TOC)含量为 0.08%~1.36%,平均为 0.52%,镜质组反射率( $R_o$ )为 0.8%~1.2%,平均为 1.0%;杭乌拉地区埋汗哈达组暗色泥岩有机碳(TOC)含量为 0.10%~2.34%,平均为 0.72%,镜质组反射率( $R_o$ )为 0.7%~0.8%,平均为 0.8%<sup>[3-5]</sup>。

## 3 生物标志化合物的特征

生物标志化合物是指存在于地壳和大气圈中,分子结构与特定天然产物之间有明确联系或与特定生物类别的分子结构之间有相关性的天然有机化合物。生物标志化合物包括正构烷烃、类异戊二烯烃类、三环萜烷、藿烷、甾类等。在石油地质研究中,生物标志化合物主要用于判断有机质的类型、热演化与成熟度<sup>[6-9]</sup>。

### 3.1 正构烷烃

额济纳旗及邻区烃源岩正构烷烃碳数分布比较分散,大部分样品正构烷烃的碳数分布范围在  $C_{14}$ ~ $C_{35}$  之间,少数样品可达  $nC_{37}$ (图 1,表 2)。大部分样品的正构烷烃以低碳数( $C_{18}$ ~ $C_{21}$ )为主峰碳分布,不具有奇偶优势,高碳数正构烷烃丰度高, $\Sigma nC_{21}$ ~

表 1 主要剖面烃源岩的分类<sup>[3]</sup>

Table 1 Statistics of hydrocarbon source rocks along main sections

剖面	地层	碎屑岩	暗色泥页岩	泥页岩	好烃源岩		中等烃源岩		差烃源岩		累计厚度/m
		厚度/m	岩厚度/m	/碎屑岩	厚度/m	比例/%	厚度/m	比例/%	厚度/m	比例/%	
埋汗哈达	埋汗哈达组	622.7	296.9	0.477	6.36	2.6	130.58	53.6	108.62	44.2	245.56
杭乌拉	埋汗哈达组	449.7	160.1	0.356	22.2	26.4	45.5	54.0	16.5	19.6	84.2

注:统计数据不包括第四系覆盖之下埋汗哈达组的厚度,第四系覆盖之下的层段多以泥页岩为主

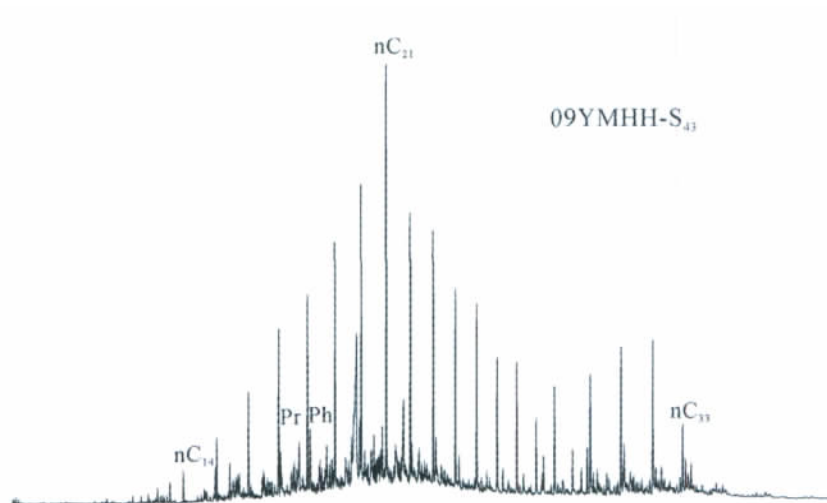


图1 饱和烃 M/Z85 质量色谱

Fig. 1 Saturated hydrocarbon M/Z85 mass chromatogram

$\Sigma nC_{22}^+$ 变化较大,分布在 0.15~1.85 之间,23 个样品中 65.2% 的样品  $\Sigma nC_{21}^- / \Sigma nC_{22}^+$  小于 1,34.8% 的样品大于 1,显示该区二叠系埋汗哈达组烃源岩中的有机质是由陆源高等植物和水生生物共同组成的。

一般认为 OEP 值为 1.2 时进入生油门限,区内埋汗哈达组烃源岩 OEP 值为 0.38~1.11(表 2),显示该套烃源岩处于成熟阶段。

### 3.2 类异戊二烯烷烃

类异戊二烯烷烃是一类能指示有机质生源和沉积成岩环境的生物标志化合物<sup>[10]</sup>,烃源岩中含量最多、分布最广的类异戊二烯烷烃类是  $iC_{19}$  的姥鲛烷(Pr-Pristane)与  $iC_{20}$  的植烷(Ph-Phytane)。一般认为在成岩作用阶段早期,植物叶绿素上的植基侧链在微生物作用下形成植醇,如果此时的环境为强还原环境,则植醇加氢还原成为二氢植醇,二氢植醇经过脱水、加氢形成植烷;如果沉积环境为弱氧化环境,则植醇被氧化成植烷酸,植烷酸脱羧、加氢形成姥鲛烷。因此,姥鲛烷、植烷及其 Pr/Ph 比值常作为判断物源、原始沉积环境氧化—还原条件和介质盐度的标志。

Ph/ $nC_{18}$ —Pr/ $nC_{17}$  关系显示额济纳旗及邻区二叠系埋汗哈达组的物质来源为以海相有机质为主的混源有机质(图 2)。

一般而言,Pr/Ph<0.8 为强还原性膏盐沉积环境,0.8~2.8 为还原环境,2.8~4.0 者见于偏氧化环境,如河湖、滨海沼泽或浅湖、浅海沉积,而典型煤系地层

有机质以 Pr/Ph>2.5 为特征,高者可达 8 以上<sup>[10,12~13]</sup>。额济纳旗及邻区二叠系埋汗哈达组 Pr/Ph 均小于 3.0,分布在 0.42~1.05 之间(表 2),显示以植烷占优势,其中埋汗哈达剖面 70% 的样品 Pr/Ph 小于 0.8,30% 的样品大于 0.8,表明埋汗哈达地区当时为还原—强还原环境。杭乌拉剖面的样品 Pr/Ph 均小于 0.8,指示杭乌拉地区当时为强还原环境。总之,额济纳旗及邻区二叠系埋汗哈达组沉积时期为还原—强还原环境,有利于有机质的富集。

姥鲛烷与相邻正构烷烃之比 Pr/ $nC_{17}$ 、植烷与相

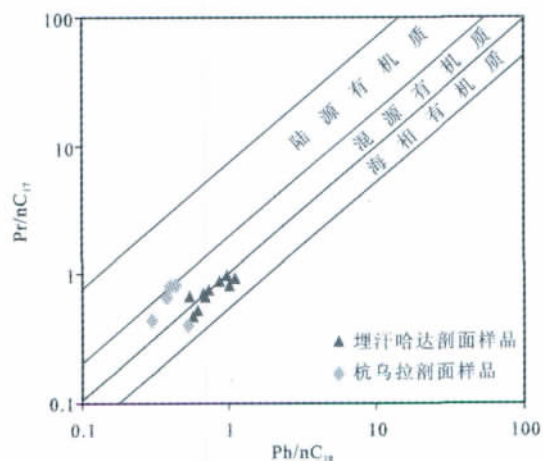


图2 额济纳旗及其邻区二叠系埋汗哈达组烃源岩 Ph/ $nC_{18}$  与 Pr/ $nC_{17}$  的关系<sup>[11]</sup>

Fig. 2 Correlation of Ph/ $nC_{18}$  and Pr/ $nC_{17}$  of Permian Maihanhada Formation hydrocarbon source rocks in Ejina Banner and its vicinities

表 2 额济纳旗及其邻区埋汗哈达组烃源岩饱和烃气相色谱参数  
Table 2 Parameters of saturated hydrocarbon gas-chromatography of source rocks

地区 / 剖面	样品 编号	岩 性	碳数范围	主峰 碳数	OEP	CPI	$\Sigma nC_{21} / (\Sigma nC_{22} + nC_{23})$	Pr/nC <sub>17</sub>	Ph/nC <sub>18</sub>	Pr/Ph	Ts / (Ts+Tm)	C <sub>27</sub> 甾烷 /%	C <sub>28</sub> 甾烷 /%	C <sub>29</sub> 甾烷 /%
埋 汗 哈 达	09YMHH-S <sub>4</sub>	灰黑色粉砂质泥岩	C <sub>11</sub> ~C <sub>37</sub>	C <sub>20</sub>	0.99	1.05	0.68	0.67	0.54	1.05	0.48	48.25	22.84	28.91
	09YMHH-S <sub>10</sub>	灰黑色粉砂质泥岩	C <sub>17</sub> ~C <sub>29</sub>	C <sub>21</sub>	1.05	1.34	1.44	0.72	0.67	0.42	0.43	31.94	31.14	36.91
	09YMHH-S <sub>13</sub>	灰黑色粉砂质泥岩	C <sub>13</sub> ~C <sub>37</sub>	C <sub>18</sub>	0.99	0.97	0.54	0.84	1.01	0.76	0.42	35.85	28.74	35.40
	09YMHH-S <sub>18</sub>	灰黑色粉砂质泥岩	C <sub>16</sub> ~C <sub>29</sub>	C <sub>20</sub>	0.95	1.53	1.15	0.93	1.09	0.84	0.43	38.07	28.21	33.72
	09YMHH-S <sub>21</sub>	灰黑色粉砂质泥岩	C <sub>15</sub> ~C <sub>32</sub>	C <sub>20</sub>	0.9	1.18	1.14	0.90	0.85	0.79	0.43	36.07	28.70	35.24
	09YMHH-S <sub>24</sub>	灰黑色粉砂质泥岩	C <sub>15</sub> ~C <sub>31</sub>	C <sub>20</sub>	0.91	1.36	1.52	0.47	0.57	0.64	0.44	36.62	29.85	33.53
	09YMHH-S <sub>26</sub>	灰黑色粉砂质泥岩	C <sub>16</sub> ~C <sub>31</sub>	C <sub>21</sub>	1.05	1.42	0.83	0.77	0.73	0.47	0.50	75.44	11.32	13.24
	09YMHH-S <sub>30</sub>	灰黑色粉砂质泥岩	C <sub>15</sub> ~C <sub>35</sub>	C <sub>18</sub>	1.06	1.18	1.51	0.98	0.96	1.01				
杭 乌 拉	09YMHH-S <sub>40</sub>	灰黑色粉砂质泥岩	C <sub>14</sub> ~C <sub>37</sub>	C <sub>25</sub>	1.08	1.05	0.38	0.67	0.69	0.77	0.56	73.50	12.23	14.26
	09YMHH-S <sub>43</sub>	灰黑色粉砂质泥岩	C <sub>14</sub> ~C <sub>33</sub>	C <sub>21</sub>	1.09	1.03	0.70	0.53	0.61	0.70	0.57	71.43	13.16	15.41
	HWL-P1m-S <sub>3</sub>	灰色粉砂质泥岩	C <sub>15</sub> ~C <sub>32</sub>	C <sub>18</sub>	0.62	1.22	1.34	0.41	0.53	0.42	0.46	38.63	29.22	29.22
	HWL-P1m-S <sub>8</sub>	灰黑色泥灰岩	C <sub>15</sub> ~C <sub>32</sub>	C <sub>22</sub>	0.88	1.16	0.64	0.45	0.30	0.51	0.45	37.73	30.01	30.01
	HWL-P1m-S <sub>12</sub>	灰色泥岩	C <sub>16</sub> ~C <sub>33</sub>	C <sub>27</sub>	1.11	1.16	0.16	0.66	0.38	0.47	0.45	41.42	29.02	29.02
	HWL-P1m-S <sub>22</sub>	灰色泥岩	C <sub>16</sub> ~C <sub>33</sub>	C <sub>25</sub>	1.03	1.16	0.23	0.81	0.43	0.45	0.43	33.67	31.29	31.29
	HWL-P1m-S <sub>33</sub>	深灰色泥岩	C <sub>15</sub> ~C <sub>35</sub>	C <sub>25</sub>	1.05	1.15	0.15	0.81	0.40	0.56	0.45	35.84	31.12	31.12

注: OEP—奇偶优势指数; CPI—碳优势指数



邻正构烷烃之比  $\text{Ph}/\text{nC}_{18}$ , 能较好地反映样品中有机质的降解程度。一般降解较严重的样品姥鲛烷或植烷的相对丰度会大于其相邻的正构烷烃<sup>[14]</sup>。除埋汗哈达剖面 2 个样品  $\text{Ph}/\text{nC}_{18}$  值略大于 1, 分别为 1.01 和 1.09 之外, 本次研究的所有样品  $\text{Pr}/\text{nC}_{17}$  和  $\text{Ph}/\text{nC}_{18}$  值都分别分布在 0.34~0.98 和 0.30~0.96 之间(表 2), 显示了区内埋汗哈达组烃源岩未受较强烈降解的特征。利用  $\text{Pr}/\text{nC}_{17}$ 、 $\text{Ph}/\text{nC}_{18}$  还可以划分烃源岩的干酪根类型, 区内埋汗哈达组烃源岩有机质类型以  $\text{I}_2$  型为主, 部分为  $\text{I}_1$  和  $\text{II}_1$  型(图 3)。

### 3.3 姥 鲛 烷

$\text{Ts}/(\text{Ts}+\text{Tm})$  是衡量成熟度的常用参数, 在评价来自同一有机相的相同源岩时,  $\text{Ts}/(\text{Ts}+\text{Tm})$  为可靠的成熟度指标<sup>[13]</sup>。额济纳旗及邻区埋汗哈达组烃源岩样品(14 件)  $\text{Ts}/(\text{Ts}+\text{Tm})$  为 0.42~0.57(表 2),

表明该区二叠系埋汗哈达组烃源岩处于成熟—高成熟阶段。

### 3.4 甾 烷

甾烷是重要的生物标志物, 也是反映生物有机质输入最常用的参数。不同生物有机质  $\text{C}_{27}$ 、 $\text{C}_{28}$  和  $\text{C}_{29}$  甾醇含量不同: 水生浮游生物  $\text{C}_{27}$  甾醇占优势,  $\text{C}_{28}$  和  $\text{C}_{29}$  甾醇的含量较低; 陆源生物  $\text{C}_{29}$  甾醇占优势, 而  $\text{C}_{27}$  和  $\text{C}_{28}$  甾醇的含量较低; 有机质在演化过程中, 生物有机质中  $\text{C}_{27}$ 、 $\text{C}_{28}$  和  $\text{C}_{29}$  甾醇加氢脱羟基转变为相同碳数的甾烷, 而其碳—碳骨架保持不变。因此, 可根据烃源岩抽提物中甾烷的  $\text{C}_{27}$ 、 $\text{C}_{28}$ 、 $\text{C}_{29}$  相对含量确定有机质的类型<sup>[6]</sup>。本区烃源岩样品中检测出了较丰富的  $\text{C}_{27}$ ~ $\text{C}_{29}$  规则甾烷系列和  $\text{C}_{27}$ ~ $\text{C}_{29}$  重排甾烷系列化合物及孕甾烷( $\text{C}_{21}$ ~ $\text{C}_{22}$ )。多数样品规则甾烷  $\text{C}_{27}$ 、 $\text{C}_{28}$ 、 $\text{C}_{29}$  呈 V 字形分布, 以  $\text{C}_{27}$  甾烷稍占

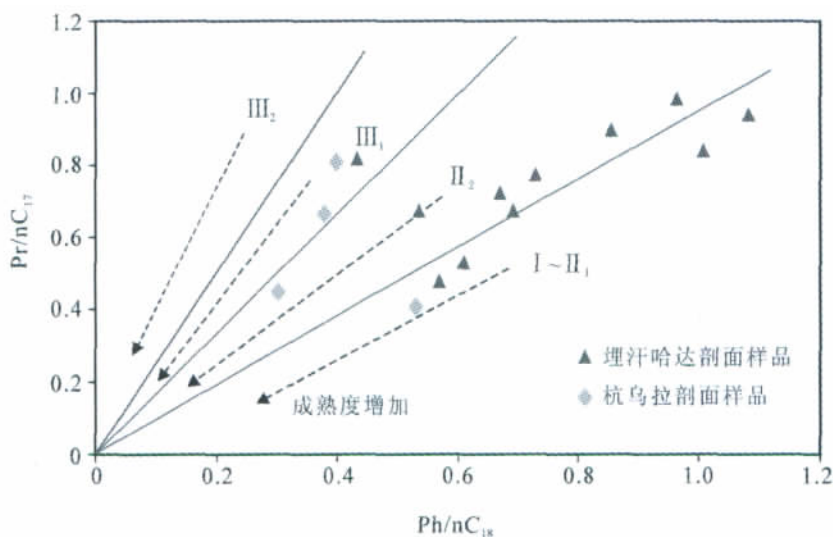


图 3 额济纳旗及其邻区二叠系埋汗哈达组姥鲛烷—植烷有机质类型判别

Fig. 3 Organic matter types distinguished by pristane-phytane of Permian Maihanhada Formation hydrocarbon source rocks in Ejin Banner and its vicinities

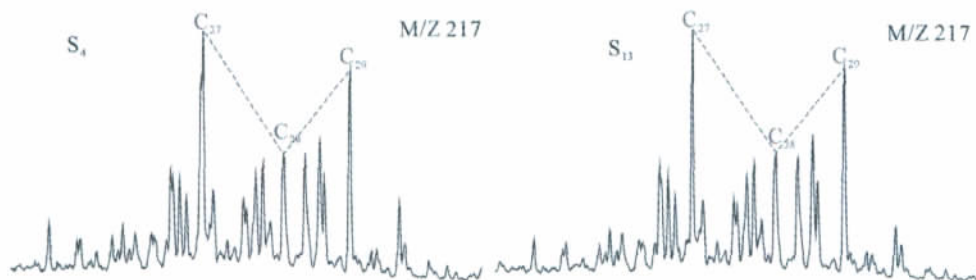


图 4 额济纳旗雅干地区二叠系埋汗哈达组烃源岩饱和烃色谱

Fig. 4 Saturated hydrocarbon chromatogram of Permian Maihanhada Formation source rocks in Yagan area of Ejin Banner

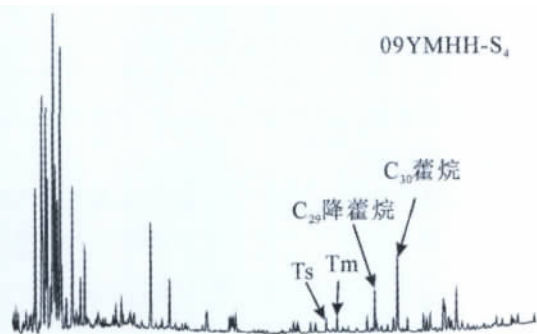


图 5 饱和烃 M/Z191 质量色谱

Fig. 5 Saturated hydrocarbon M/Z191 mass chromatogram

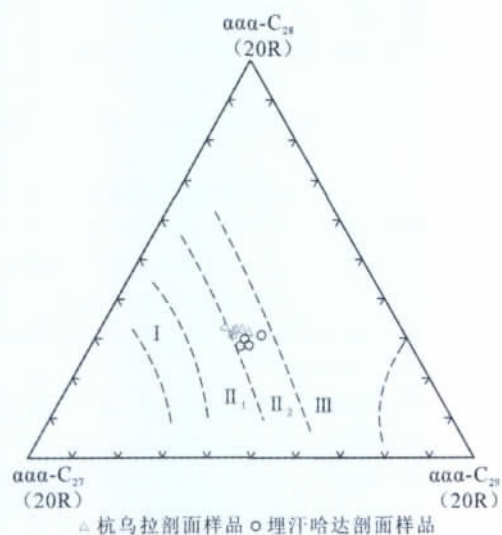


图 6 甾烷相对含量干酪根类型划分图

Fig. 6 Kerogen type division diagram with relative content of sterane

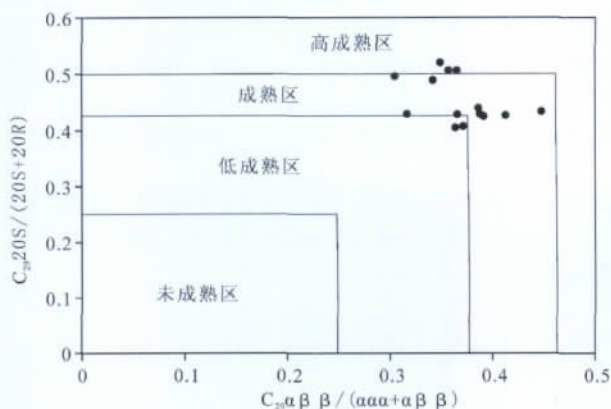


图 7 额济纳旗及其邻区二叠系埋汗哈达组烃源岩成熟度分类

Fig. 7 Classification of maturities of Permian Maihanhada Formation source rocks in Ejina Banner and its vicinity

表 3 烃源岩成熟度的甾烷参数评价<sup>[4]</sup>

Table 3 Sterane parameter evaluation for the maturity of source rocks

成熟度	$C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S/(20S+20R)$	$C_{29}\alpha\beta\beta/(\alpha\alpha\alpha+\alpha\beta\beta)$
未成熟	<0.25	<0.25
低成熟	0.25~0.43	0.25~0.38
成熟	0.43~0.50	0.38~0.46
高成熟	>0.50	>0.46

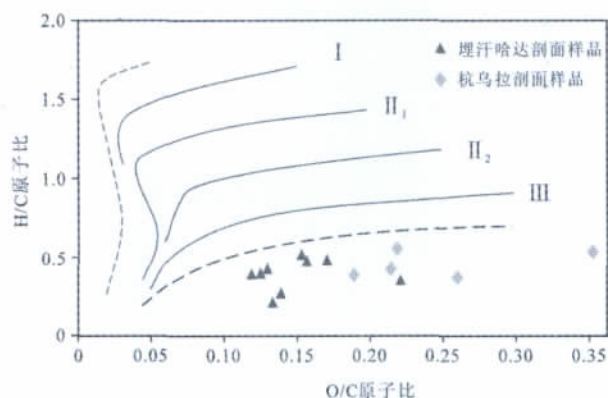


图 8 额济纳旗及其邻区二叠系埋汗哈达组干酪根元素判别有机质类型

Fig. 8 Organic matter types distinguished by kerogen elements of Permian Maihanhada Formation hydrocarbon source rocks in Ejina Banner and its vicinity

优势(图 4、图 5)。从  $\alpha\alpha\alpha 20R$  构型  $C_{27}$ — $C_{28}$ — $C_{29}$  甾烷的相对丰度组成三角图(图 6)同样可以看出,区内埋汗哈达组烃源岩有机质类型以  $II_2$  型为主<sup>[8]</sup>。

通常用生物构型的  $\alpha\alpha\alpha-20R/(20S+20R)$ 、地质构型( $\alpha\beta\beta$ )、生物构型、地质构型之和( $\alpha\beta\beta+\alpha\alpha\alpha$ )的比值判断烃源岩的成熟度(表 3),上述比值与烃源岩成熟度呈正比<sup>[6]</sup>。各种生物标志化合物在热演化过程中向 S 构型转化,形成 R+S 构型的混合物, $C_{27}$ — $C_{29}$  甾烷的  $20S/(20S+20R)$  随成熟度的升高而增大。因此, $\alpha\alpha\alpha-20R/(20S+20R)$  与  $\alpha\beta\beta/(\alpha\beta\beta+\alpha\alpha\alpha)$  的比值图(图 7)表明研究区烃源岩成熟差异较小,主要集中在成熟—高成熟区域且相对比较集中。

#### 4 讨 论

风化作用使烃源岩中的元素 C、H 流失, O 增加,因此,用干酪根元素法和热解法不能准确地判别额济纳旗及其邻区二叠系埋汗哈达组烃源岩的

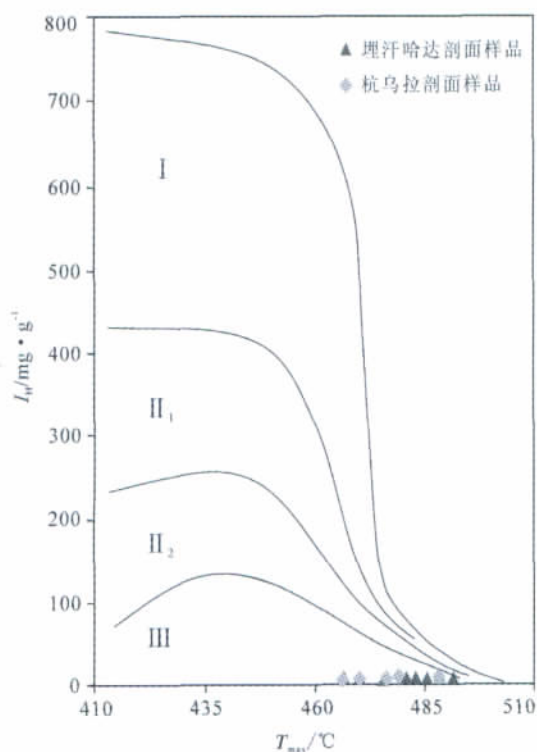


图9 额济纳旗及其邻区二叠系埋汗哈达组  
 $I_H-T_{max}$  判别有机质类型

Fig. 9 Organic matter types distinguished by the relationship between  $I_H-T_{max}$  of Permian Maihanhada Formation hydrocarbon source rocks in Ejina Banner and its vicinities

有机质类型(图8、图9)。生物标志化合物受风化作用的影响较小,姥鲛烷-植烷和  $C_{27}-C_{28}-C_{29}$  甾烷等生物标志化合物能较好地判别烃源岩的有机质类型(图3、图6)。因此,利用生物标志化合物参数进行烃源岩评价是传统烃源岩评价方法的有利补充,有时能起到事半功倍的效果。

## 5 结论

(1) 额济纳旗及邻区二叠系埋汗哈达组沉积时期沉积环境以还原—强还原环境为主,有利于有机

质的富集,物源来自于陆源高等植物和水生生物,且以水生生物输入占优势。

(2)  $Pr/nC_{17}$ 、 $Ph/nC_{18}$ 、 $C_{27}-C_{28}-C_{29}$  甾烷等生物标志化合物参数都显示区内埋汗哈达组烃源岩有机质类型以  $I_2$  型为主。

(3)  $OEP$ 、 $Ts/(Ts+Tm)$ 、 $C_{29}$  甾烷等参数分析表明,额济纳旗及其邻区二叠系埋汗哈达组烃源岩处于成熟—高成熟阶段,有利于油气的生成。

## 参考文献

- [1] 卢进才,魏仙样,陈高潮,等.内蒙古西部额济纳旗及邻区石炭系—二叠系沉积建造与生烃条件——石炭系—二叠系油气地质条件研究之一[J].地质通报,2011,30(6):811-826.
- [2] 金玉环,范影年,王向东,等.中国地层典——石炭系[M].北京:地质出版社,2000.
- [3] 金玉环,范影年,王向东,等.中国地层典——二叠系[M].北京:地质出版社,2000.
- [4] 卢进才,魏仙样,魏建设,等.内蒙古西部额济纳旗雅干地区二叠系埋汗哈达组烃源岩的特征[J].地质通报,2010,29(2/3):341-345.
- [5] 卢进才,魏仙样,陈高潮,等.阿拉善右旗杭乌拉地区二叠系埋汗哈达组烃源岩特征[J].吉林大学学报(地球科学版),2010,(5):61-65.
- [6] 彭兴芳,李周波.生物标志化合物在石油地质中的应用[J].资源环境与工程,2006,20(3):279-283.
- [7] 段宏亮,钟建华,邱旭明,等.柴东地区石炭系烃源岩地球化学特征[J].应用基础与工程科学学报,2009,17(2):219-230.
- [8] 卢双舫,张敏.油气地球化学[M].北京:石油工业出版社,2008:201-205.
- [9] 王铁冠.生物标志物地球化学研究[M].武汉:中国地质大学出版社,1990.
- [10] 曾凡刚,程克明.华北地区下古生界海相烃源岩饱和烃生物标志物地球化学特征[J].地质地球化学,1998,26(3):25-32.
- [11] 张磊,张敏.柴达木盆地西部南区绿参1井烃源岩地球化学研究[J].天然气地球科学,2009,2(4):610-615.
- [12] 张水昌.南方海相地层中生物标志化合物——细菌和藻类生物的贡献[M].北京:石油工业出版社,1993:155-174.
- [13] Peters K E. The Biomarker Guide[M]. Cambridge University Press, 2005: 660-662.
- [14] 孟仟祥,房嫒,徐永昌,等.柴达木盆地石炭系烃源岩和煤岩生物标志物特征及其地球化学意义[J].沉积学报,2004,22(4):729-736.