

内蒙古西部阿拉善右旗芒罕超克地区上石炭统一 下二叠统阿木山组烃源岩的特征

魏仙样, 陈高潮, 魏建设, 李玉宏

WEI Xian-yang, CHEN Gao-chao, WEI Jian-she, LI Yu-hong

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:对芒罕超克地区阿木山组(C_2P_1a)岩性组合与沉积相纵向发育特征研究,结合区域沉积相展布分析,认为阿木山组沉积期为巴丹吉林海相裂谷盆地发育的鼎盛时期,沉积了一套厚度巨大的浅海陆棚相泥页岩,是区内烃源岩发育的主要层段。以 $TOC \geq 0.3\%$ 为下限,折算烃源岩厚度121.39m。其中, TOC 含量中等—较高的烃源岩厚度达89.11m,占烃源岩分布层段厚度的58.9%;干酪根 C 同位素、甾烷 C_{27} 与 C_{29} 相对含量、饱和烃特征等地球化学指标研究表明,干酪根类型以Ⅱ型为主;姥鲛烷(Pr)/植烷(Ph)所反映的原始沉积环境表明,有机质沉积环境主要为还原环境,对有机质保存有利;镜质组反射率、最大热解温度和伊利石结晶度分析表明,烃源岩演化进入过成熟阶段,主要受构造动力作用和华力西晚期、印支期岩浆热接触作用的影响,不存在区域变质,不影响区域上阿木山组作为重要的烃源岩层段。

关键词:芒罕超克地区;阿木山组;浅海陆棚相;暗色泥岩;烃源岩

中图分类号:P534.45; P534.46; P618.13

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2011)06-0879-09

Wei X Y, Chen G C, Wei J S, Li Y H. Characteristics of hydrocarbon source rocks in Amushan Formation in Manghanchaoke region of Alxa Right Banner, western Inner Mongolia. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(6):879-887

Abstract: Based on a study of the lithologic association, vertical characteristics of sedimentary facies and regional sedimentary distribution of Amushan Formation in Manghanchaoke region, the authors hold that the flourishing period of Badanjilin marine rift basin was the sedimentary period of Amushan Formation, during which the shallow marine shelf facies mud shale of huge sedimentary thickness was deposited, which constitutes the main layer section of source rocks in this region. With $TOC \geq 0.3\%$ as the lower limit, the converted thickness of the source rock is 121.39m, in which the thickness of middle to higher organic carbon is 89.11m, possessing 58.9% of the thickness of the hydrocarbon source rock layer. A study of geochemical indexes of kerogen carbon isotopes, the relative content of C_{27} & C_{29} sterane and saturation hydrocarbon characteristics shows that the main kerogen type is type. An analysis of original sedimentary environment with Pr/Ph shows that the main sedimentary environment was a reducing environment, which was beneficial for the preservation of organic matter. And the characteristics of vitrinite reflectance solid, maximum pyrolytic temperature and illite crystallinity show that the source rock owed its conversion into highly-mature to over-mature stage and mainly over-mature stage to the influence of tectonic dynamic activity and magma metamorphism of late Variscan and Indo-Chinese epoch. There has been no regional metamorphism, so Amushan Formation is the main source rock layer section in this region.

Key words: Manghanchaoke region; Amushan Formation; shallow marine shelf facies; dark mudstones; hydrocarbon source rocks

收稿日期:2011-02-21;修订日期:2011-04-25

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

作者简介:魏仙样(1961-),女,高级工程师,从事石油天然气勘探与开发研究。E-mail:shiyu2002@163.com

中国地质调查局西安地质调查中心在额济纳旗及其邻区开展的以石炭系—二叠系为主要目的层的油气基础地质调查成果表明,额济纳旗及其邻区石炭纪—二叠纪为统一的海相裂谷盆地^[1],区内石炭系—二叠系发育多套浅海陆棚相暗色泥页岩,具有厚度大、有机碳含量中等—较高的特点。烃源岩演化主要受埋藏史的影响,演化程度以成熟—高成熟为主,局部受构造动力作用或岩浆热接触作用的影响达到过成熟。晚石炭世晚期的小独山期—早二叠世的紫松期(阿木山组沉积期)为盆地发育的鼎盛时期,沉积了厚度巨大、以浅海陆棚相泥页岩为主的碎屑岩+碳酸盐岩^[2-3],对应的岩性地层单元阿木山组是烃源岩横向分布最广、纵向厚度最大的层段。受地层出露和样品采集的限制,阿木山组烃源岩研究较为薄弱。

芒罕超克剖面位于巴丹吉林沙漠腹地的阿拉善右旗塔木素布拉格苏木中部,构造位置位于宗乃山隆起南坡,是银—额(银根—额济纳旗)盆地内少有的阿木山组出露较全的剖面。在对芒罕超克剖面阿木山组进行实测、系统样品采集的基础上,建立了层序地层剖面与油气地球化学剖面。通过以有机质丰度、干酪根类型评价为重点的地球化学特征研究,结合烃源岩演化及其影响因素的分析,认为阿木山组是区内重要的烃源岩发育层段。加强阿木山组烃源岩研究,对银—额盆地及其邻区石炭系—二叠系油气资源前景评价具有重要意义。

1 地层沉积特征

1.1 岩性组合特征

对阿拉善右旗塔木素布拉格苏木芒罕超克地区阿木山组(C_2P_1a)剖面的实测结果表明,受断层发育的影响,阿木山组出露不全,底部与元古宇龙首山组(第1层)为断层接触,顶部与二叠系菊石滩组(第24层)亦为断层接触,阿木山组内部第16层与第17层亦为断层接触。

以实测剖面为依据建立的层序地层剖面(图1),阿木山组出露厚度969.96m,其中碎屑岩厚度745.91m。该组自下而上划分为4个岩性段:第一岩性段(第2~4层)主要为泥质粉砂岩与细砂岩,厚339.53m;第二岩性段(第5~15层)以黑色泥岩、灰黑色粉砂质泥岩为主,偶夹薄层细砂岩,厚186.90m;第三岩性段(第16~17层)以粗砂岩为主,底部为粉

砂岩,厚219.48m;第四岩性段(第18~23层)为中层状灰岩、硅化灰岩夹火山岩(安山质熔凝灰岩),厚224.05m,其中火山岩厚47.04m。

1.2 沉积相纵向发育特征

根据岩性组合、沉积结构构造和薄片资料反映的岩石学特征,阿木山组代表了一个完整的沉积旋回,自下而上的沉积演化为滨海相(临滨和前滨亚相)—浅海相(陆棚亚相为主)—滨海相(临滨和前滨亚相)—开阔台地相。第一岩性段为以前滨和临滨为主的滨海相沉积,由于断层的影响,底部可能出露不全,邻区发育后滨和三角洲相;第二岩性段代表了巴丹吉林裂谷盆地发育鼎盛时期的沉积,沉积了一套厚度巨大的浅海陆棚亚相的泥页岩,是区内烃源岩发育的主要层段;第三岩性段沉积时水体明显变浅,由滨海相的临滨亚相过渡到前滨亚相沉积;第四岩性段沉积时水体稳定,以开阔台地相沉积为主,夹海相火山岩相。

2 烃源岩纵向分布

区内碳酸盐岩分布不稳定,横向变化大,而且有机碳含量低,不作为烃源岩研究的重点。因此,本文仅对阿木山组的暗色泥页岩进行生烃条件评价。

阿木山组暗色泥岩厚180.83m,占碎屑岩厚度的24.2%,集中分布在第二岩性段,在厚186.90m的岩性层段中,除夹2层厚分别为2.57m和3.50m的长石石英细砂岩层外,其余全为暗色泥岩或粉砂质泥岩,泥质岩占该层段厚度的96.75%(图1)。

中国石油天然气总公司1995年发布的行业标准将中国陆相含油气盆地低成熟烃源岩TOC的下限确定为0.4%^[4-5]。本区烃源岩演化程度较高,而且所采样品为地表剖面样品,考虑到高热演化和风化作用使TOC发生损失^[6-8],将TOC含量下限确定为0.3%。据此,第5~9层和第11层不同比例的样品达到烃源岩评价下限,累计地层厚度151.41m,折算烃源岩厚度121.39m,占该层段厚度的80.2%;第13~15层暗色泥岩厚度29.64m,但有机质含量较低,达不到烃源岩评价标准,为非烃源岩段。

3 烃源岩地球化学特征

3.1 有机质丰度

有机质丰度评价通常采用有机碳含量(TOC)、热解产油潜量(S_1+S_2)、氯仿沥青“A”等指标。但对地

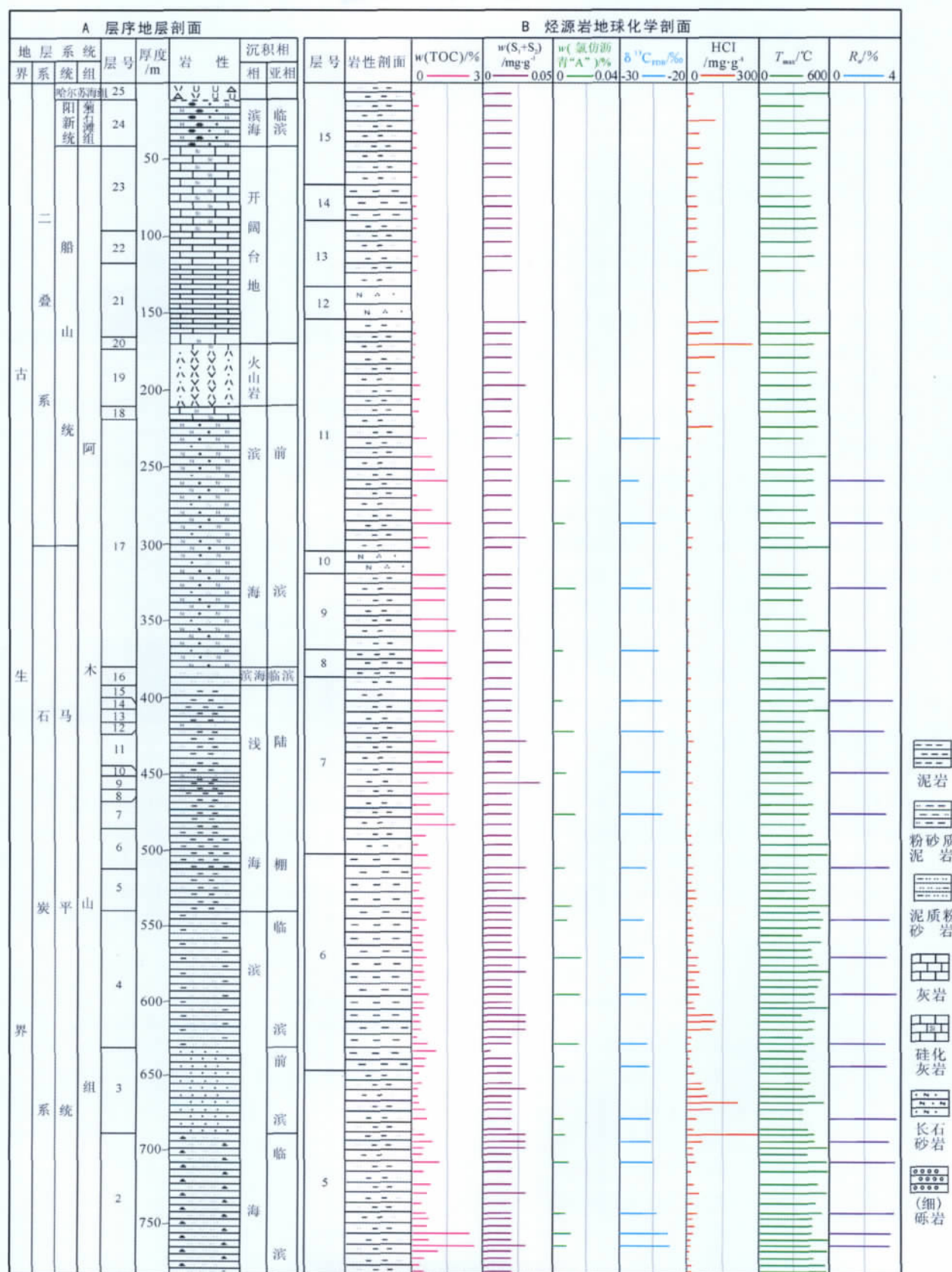


图 1 阿拉善右旗芒罕超克地区阿木山组油气地球化学剖面

Fig. 1 Hydrocarbon geochemical section of Amushan Formation in Manghanchaoke region of Alxa Right Banner

表剖面采集的样品或演化程度较高的样品而言,热解产油潜量(S_1+S_2)和氯仿沥青“A”作为评价烃源岩的丰度指标受到影响,因此仅作为参考指标。

3.1.1 TOC 含量

通过对烃源岩层段(第 5~9 层和 11 层)采集的 99 件样品分析,有机碳含量(TOC)分布在 0.03%~2.65%之间,平均为 0.73%,TOC 大于 0.30%以上的样品占 80.8%,其中 54.6%的样品 TOC 分布在 0.50%~1.00%之间,26.3%的样品 TOC 大于 1.00%(图 2)。进一步分析各层 TOC 含量的变化,第 5、6 层和第 11 层 TOC 平均含量相对较低,分别为 0.64%、0.46%和 0.56%,第 7、8、9 层 TOC 较高,分别为 1.25%、1.36%和 1.53%。

依据卢进才等^[9]的分类标准,TOC 含量大于 1.0%的为好烃源岩,0.5%~1.0%为中等烃源岩,0.3%~0.5%为差烃源岩,小于 0.3%为非烃源岩,对烃源岩层段进行分类,并进一步分析各层 TOC 含量的变化。结果表明,好烃源岩累计厚度 47.19m,占烃源岩分布层段厚度的 31.2%,主要集中在 7~9 层。中等烃源岩累计厚度 41.92m,占烃源岩分布层段厚度的 27.7%,主要集中在第 5、6 层和第 11 层。差烃源岩厚度为 32.27m,占烃源岩分布层段厚度的 21.3%,在第 5、6 层和第 11 层中有分布。非烃源岩厚度为 30.03m,占烃源岩分布层段厚度的 19.3%,第 5~7 层和第 11 层有分布(表 1、表 2、图 1)。

与区内石炭系一二叠系其它剖面比较,芒罕超克剖面阿木山组不仅烃源岩厚度大、层段集中,而且 TOC 含量高,好烃源岩所占比例大,尤其是第 7~9 层,TOC 平均含量均大于 1.0%,是区内好烃源岩最发育的剖面之一。

3.1.2 产油潜量与氯仿沥青“A”

受地表风化和高热演化的影响,研究剖面烃源岩产油潜量(S_1+S_2)和氯仿沥青“A”含量明显低于烃源岩评价标准。产油潜量为 0.01~0.05mg/g,平均

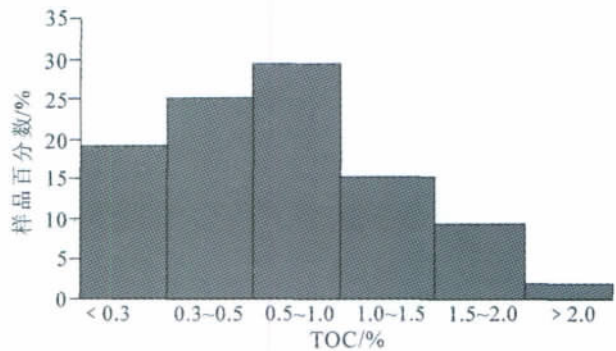


图 2 阿拉善右旗芒罕超克地区阿木山组 TOC 含量分布
Fig. 2 Distribution of organic carbon of Amushan Formation in Manghanchaoke region of Alxa Right Banner

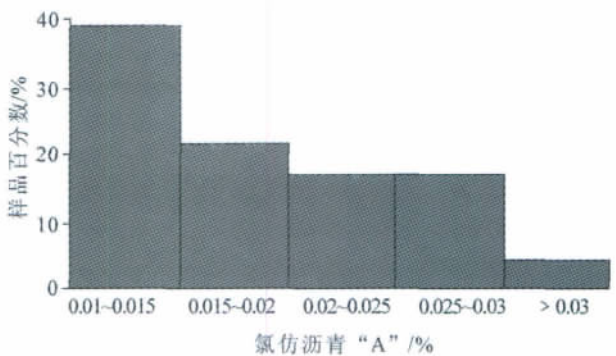


图 3 阿拉善右旗芒罕超克地区阿木山组
氯仿沥青“A”含量分布
Fig. 3 Distribution of bitumen “A” with chloroform of Amushan Formation in Manghanchaoke region of Alxa Right Banner

表 1 暗色泥岩层有机质丰度分类评价

Table 1 Classified evaluation of organic matter abundances of dark mudstone layer

| 分层号 | 样号数/件 | 层厚度 /m | 好烃源岩 | | 中等烃源岩 | | 差烃源岩 | | 非烃源岩 | |
|-----|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 厚度/m | 占层厚/% | 厚度/m | 占层厚/% | 厚度/m | 占层厚/% | 厚度/m | 占层厚/% |
| 11 | 19 | 38.3 | 6.05 | 15.8 | 12.09 | 31.6 | 4.032 | 10.5 | 16.13 | 42.1 |
| 9 | 4 | 10.65 | 10.65 | 100 | — | — | — | — | — | — |
| 8 | 2 | 4.81 | 4.81 | 100 | — | — | — | — | — | — |
| 7 | 17 | 27.7 | 19.55 | 70.6 | 6.52 | 23.5 | — | — | 1.63 | 5.9 |
| 6 | 28 | 34.43 | 1.23 | 3.6 | 9.84 | 28.6 | 18.44 | 53.6 | 4.92 | 14.3 |
| 5 | 29 | 35.52 | 4.90 | 13.8 | 13.47 | 37.9 | 9.80 | 27.6 | 7.35 | 20.7 |
| 合计 | 99 | 151.41 | 47.19 | 31.2 | 41.92 | 27.7 | 32.27 | 21.3 | 30.03 | 19.8 |

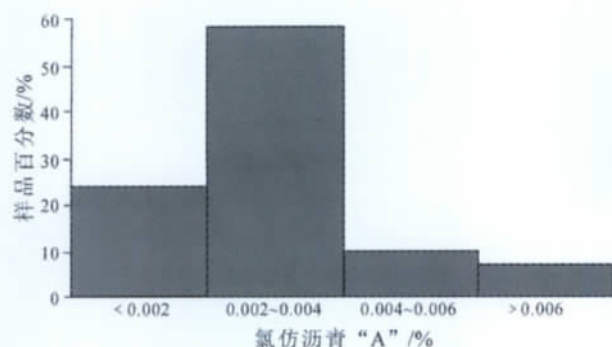


图 4 三塘湖盆地地表剖面石炭系烃源岩
氯仿沥青“A”含量分布

Fig. 4 Distribution of bitumen "A"
with chloroform of Carboniferous source rocks
in surface section of Santanghu basin

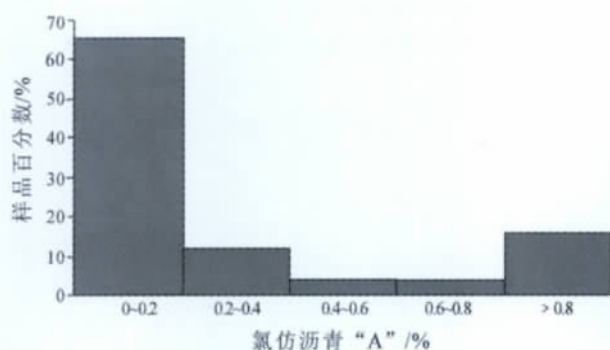


图 5 三塘湖盆地钻井剖面石炭系烃源岩
氯仿沥青“A”含量分布

Fig. 5 Distribution of bitumen "A"
with chloroform of Carboniferous source rocks
in drilling profiles of Santanghu basin

0.023mg/g, 氯仿沥青“A”为 0.010%~0.031%(图 3), 平均为 0.018%, 较区内其它层段氯仿沥青“A”高许多(其它剖面氯仿沥青“A”主要分布在 0.001%~0.003%之间)。

三塘湖盆地与研究区处于同一构造带, 近几年来石炭系—二叠系油气勘探取得重大突破, 三塘湖盆地石炭系—二叠系地表剖面样品氯仿沥青“A”含量主要分布在 0.002%~0.004%之间, 较芒罕超克剖面阿木山组样品的氯仿沥青“A”低得多(图 4), 而三塘湖盆地石炭系—二叠系钻井剖面氯仿沥青“A”达到正常烃源岩评价标准(图 5)。说明地表剖面氯仿沥青“A”受风化作用的影响, 其含量低不能代表有机质的丰度。

3.2 干酪根类型

3.2.1 干酪根 C 同位素

干酪根 C 同位素($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$)通常作为干酪根类型评价的重要指标^[9-10]。将 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 小于 -28‰ 的定为 I 型有机质, 大于 -25.5‰ 的为 II 型有机质, 介于二者之间的为 III 型有机质。 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 组成随演化程度的升高稍有变重的趋势(一般小于 2‰)。

阿拉善右旗芒罕超克地区阿木山组烃源岩的干酪根 C 同位素($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$)分布范围为 -27.4‰ ~ -23.9‰ , 平均值分布范围为 -26.4‰ ~ -24.1‰ , 较区内石炭系—二叠系其它剖面轻^[11]。考虑到 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 组成在演化过程中变重^[10], 应以 I 型干酪根为主, 并有部分 II 型干酪根。

3.2.2 甾烷相对含量

通常以水生生物为主的有机质具有 C_{27} 甾烷优

表 2 阿拉善右旗芒罕超克剖面阿木山组烃源岩地球化学特征

Table 2 Geochemical characteristics of Amushan Formation source rocks in
Manghanchaoke section of Alxa Right Banner

| 层号 | TOC/% | S_1+S_2 /mg·g ⁻¹ | 氯仿沥青 “A”/% | $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ /‰ | R_o /% | T_{max} /℃ | 饱和烃 /% | 芳烃 /% | 饱和/芳 | 非烃+沥青 质/% | CPI | OEP | Pr/Ph |
|--------|-----------|--|---------------|--|-------------|------------------------|-----------|----------|------|--------------|------|------|-------|
| 第 11 层 | 0.56 (19) | 0.02 | 0.017 (3) | -25.6 | 3.03 | 463 | 40.4 | 5.2 | 8 | 54.4 | 1.20 | 1.00 | 0.74 |
| 第 9 层 | 1.53 (4) | 0.02 | 0.025 (1) | -25.6 | 3.2 | 445 | 36.1 | 5.6 | 6.5 | 58.3 | 1.01 | 1.05 | 0.94 |
| 第 8 层 | 1.36 (2) | 0.02 | 0.010 (1) | -24.6 | 3.2 | 426 | 43.8 | 6.3 | 7.0 | 50.0 | 0.79 | 0.98 | 1.00 |
| 第 7 层 | 1.25 (17) | 0.02 | 0.018 (4) | -24.1 | 3.29 | 454 | 29.5 | 9.4 | 3.7 | 61.1 | 1.18 | 1.20 | 1.00 |
| 第 6 层 | 0.46 (28) | 0.02 | 0.025 (5) | -26.4 | 3.37 | 471 | 46.7 | 5.3 | 14.7 | 48.1 | 1.37 | 1.35 | 1.25 |
| 第 5 层 | 0.64 (29) | 0.02 | 0.014 (7) | -24.8 | 3.49 | 479 | 37.2 | 4.5 | 8.6 | 59.3 | 1.00 | 0.97 | 0.65 |

注:数据为样品分析平均值,括号内的数字为样品数, S_1+S_2 、 T_{max} 与 TOC 分析样品数相同,芳烃、非烃+沥青质、CPI、Pr/Ph 与饱和烃分析样品数相同;CPI—碳优势指数;OEP—奇偶优势;Pr/Ph—姥鲛烷/植烷

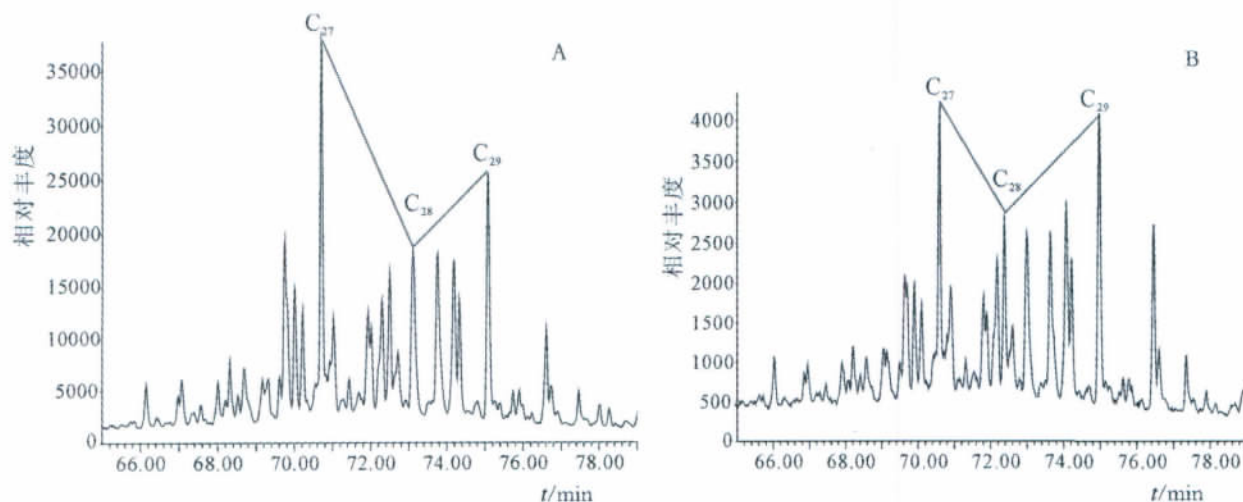


图6 典型样品饱和烃色谱-质谱图

Fig. 6 Saturated hydrocarbon chromatogram of typical samples

A—具有甾烷 C_{27} 优势的样品,第7层,样品号 S-49;B—甾烷 C_{27} 和 C_{29} 没有明显优势的样品,第5层,样品号 S-85

势,以陆源高等植物生源为主的有机质具有 C_{29} 甾烷优势^[11-12]。研究剖面甾烷 C_{27}/C_{29} 分布在 0.95~1.42 之间,平均 1.09,58% 的样品 C_{27}/C_{29} 大于 1.0,即多数样品具有 C_{27} 甾烷优势(图 6)。根据色谱分析资料所作的 C_{27} - C_{28} - C_{29} 甾烷含量三角图,21 件样品中有 2 件样品的投点落入 I_1 型干酪根分布区,19 件样品落入 I_2 型干酪根分布区(图 7),表明干酪根类型主要为 I_2 型。说明干酪根既有水生生物的贡献,也有陆源生物的贡献,并且水生生物的贡献略大于陆源生物的贡献,主要为 I_2 型干酪根,与干酪根 C 同位素结果一致。

3.2.3 饱和烃特征

不同类型干酪根在演化过程中生成烃类的结构、数量和比例不同,因此烃源岩饱和烃常作为烃源岩干酪根类型评价的重要指标。同时,氯仿沥青“A”族组分受演化程度的影响较大,即随着演化程度的升高,主峰碳数、碳数范围从高碳数向低碳数偏移,具有奇偶优势的正构烷烃特征可能逐渐消失,OEP 或 CPI 值逐渐趋于 1^[12],在饱和烃特征评价烃源岩类型时不容忽视。

芒罕超克剖面阿木山组各烃源岩层饱和烃特征统计结果表明,主峰碳多为前高单峰型(图 8-A),主峰碳前峰以 C_{17} 、 C_{19} 、 C_{21} 为主,少数样品为前高双峰型(图 8-B),前峰以 C_{17} 、 C_{19} 、 C_{21} 为主,后峰以 C_{29} 或 C_{31} 为主。饱和烃含量为 29.5%~46.7%,平均

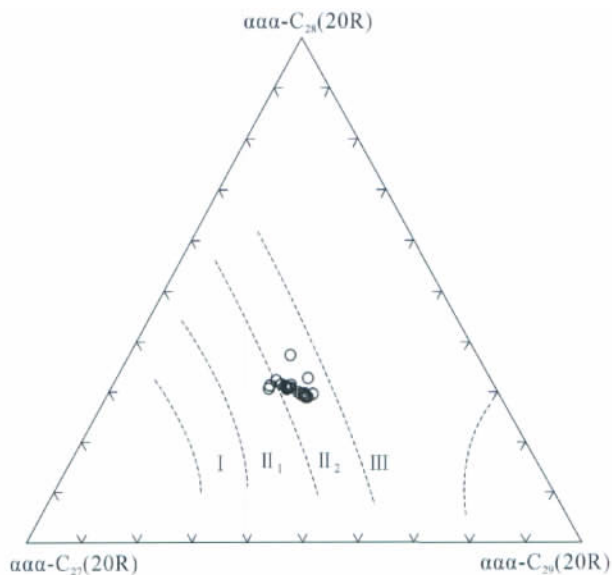
图7 甾烷相对含量干酪根类型(I、 I_1 、 I_2 、III)划分

Fig. 7 Kerogen type division diagram with relative content of sterane

$\alpha\alpha\alpha$ - C_{27} (20R);5 α (H),14 α (H),17 α (H)-胆甾烷 20R

$\alpha\alpha\alpha$ - C_{28} (20R);24-甲基-5 α (H),14 α (H),17 α (H)-胆甾烷 20R

$\alpha\alpha\alpha$ - C_{29} (20R);24-乙基-5 α (H),14 α (H),17 α (H)-胆甾烷 20R

38.7%,芳烃含量为 4.5%~9.4%,平均 5.8%,饱/芳为 3.7~14.7,平均 8.9,非烃+沥青质为 48.1%~61.1%,平均 55.9%,亦反映了 I_1 ~ I_2 型干酪根的特点。说明尽管研究剖面烃源岩演化程度较高,但其饱和烃特征仍较好地反映了烃源岩的类型。

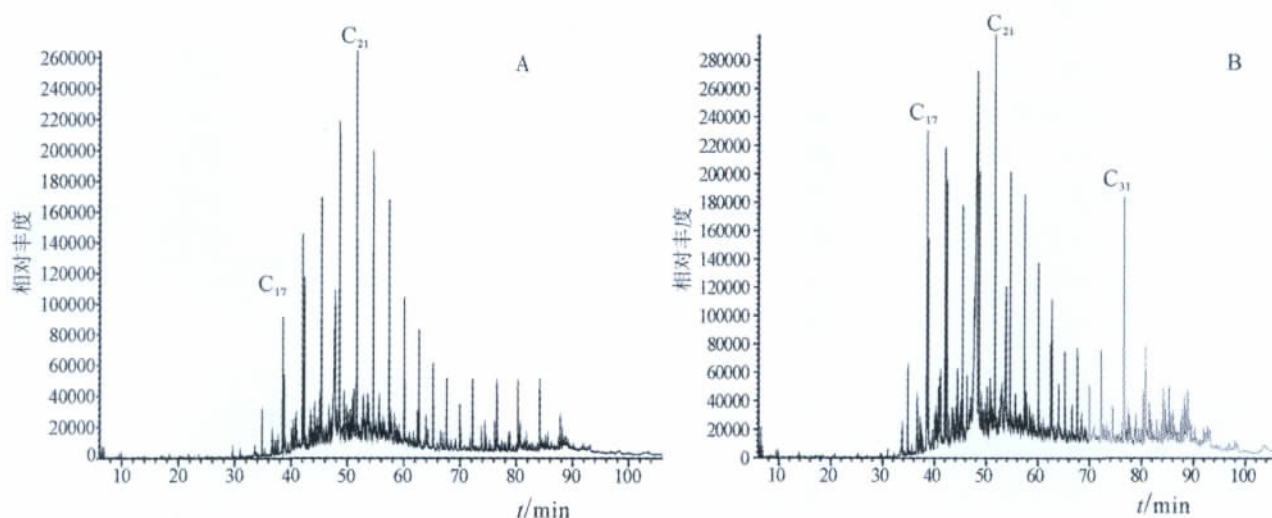


图 8 可溶有机质饱和烃的分布

Fig. 8 Ion current diagram of n-alkanes

A—前高单峰型,主峰碳为 C_{21} ,第 5 层,样品号 S-95;B—前高双峰型,前峰为 C_{21} 、后峰为 C_{31} ,第 7 层,样品号 S-45

正构烷烃的奇偶优势也是评价烃源岩干酪根类型的常用指标,通常用 CPI ($CPI = \{(C_{25} + C_{27} + C_{29} + C_{31} + C_{33}) / [1 / (C_{24} + C_{26} + C_{28} + C_{30} + C_{32}) + 1 / (C_{26} + C_{28} + C_{30} + C_{32} + C_{34})]\} / 2$) 或 OEP ($OEP = [(C_i + 6C_{i+2} + C_{i+4}) / 4(C_{i+1} + C_{i+3})]^m$) 来表示, OEP 或 CPI 明显高于 1 (如大于 1.2) 具有奇碳优势,明显低于 1 具有偶碳优势。源于高等植物的类脂化合物,其正构烷烃在 $C_{10} \sim C_{40}$ 范围内具有显著奇数碳原子对偶数碳原子的优势,具有偶碳优势的 $C_{14} \sim C_{22}$ 的正构烷烃被认为主要来源于海洋生物,奇偶优势不明显的中等相对分子量 ($nC_{15} \sim nC_{21}$) 的正构烷烃可能指示藻类等水生生物来源^[4]。研究剖面不同烃源岩层 CPI 或 OEP 存在一定差异,第 8 层具有弱的偶碳优势, CPI 为 0.79 (OEP 为 0.98),第 6 层具有明显的奇碳优势, CPI 为 1.37 (OEP 为 1.35),其它层段 CPI 为 1.0~1.2 之间 (OEP 为 0.97~1.2),考虑到热演化过程中 OEP 或 CPI 的变化,第 6 层存在明显的奇碳优势,具有陆源有机质的加入,其它层段以低等水生生物为主。

综合分析认为,芒罕超克剖面阿木山组的干酪根类型为 $I_1 \sim I_2$ 型,受沉积环境的影响,各层间干酪根类型存在一定差异。

4 有机质沉积环境

在沉积物中,高有机质的沉积层主要形成于还原环境至还原环境,因此,有机质沉积时的氧化

还原环境是评价有机质保存条件的最重要的环境因素。

沉积物中可溶有机质的姥姣烷与植烷的比值 (Pr/Ph) 是判断原始沉积环境的氧化还原条件的良好指标,一般而言^[13-14], $Pr/Ph < 0.5$ 为强还原性膏岩沉积环境; Pr/Ph 介于 0.5~1.0 之间为还原环境; Pr/Ph 介于 1.0~2.0 之间为弱还原—弱氧化环境; $Pr/Ph > 2.0$ 为偏氧化性环境。典型煤系地层有机质 $Pr/Ph > 2.5$,高者可达 8 以上。

芒罕超克剖面阿木山组烃源岩 Pr/Ph 多数介于 0.65~1.00 之间,仅第 6 层 Pr/Ph 大于 1.0 (为 1.25),说明多数层段沉积环境为还原环境,第 6 层为弱还原—弱氧化环境。对比 CPI 或 OEP 所进行的烃源岩干酪根类型的评价,第 6 层具有明显的奇数碳优势,表明具有显著的陆源植物的输入,其它层段具有偶碳优势或奇偶优势不明显。受陆源沉积物输入的影响,第 6 层氧含量相对要高,表现了弱还原—弱氧化环境,说明 Pr/Ph 反映的氧化还原环境与 CPI 或 OEP 指示的有机质干酪根类型分析结果一致。

进一步分析有机质丰度的变化,第 6 层平均有机碳含量较其它层段低,说明有机质保存相对要差。

总之,研究剖面沉积环境主要为还原环境,对有机质保存有利。芒罕超克剖面阿木山组暗色泥页岩层段有机质含量较高,本身就指示了良好的保存条件与还原环境。

5 有机质成熟度

5.1 镜质组反射率

有机组分中的镜质组反射率(R_o)随热演化程度的升高而增大,并具有相对广泛、稳定的可比性,是烃源岩评价应用最广泛、最权威的指标^[15]。虽然研究区石炭系—二叠系烃源岩以浅海陆棚相沉积的暗色泥页岩为主,陆源有机质少,烃源岩中有机组分主要为镜屑体和基质镜质体,缺乏均值镜质体,镜质组反射率测量受到一定的影响,往往一个样品中多个点的波动较大,但众多点的统计规律仍能较好地反映烃源岩的演化程度。芒罕超克剖面阿木山组烃源岩镜质组反射率分布在 3.03%~3.49% 之间,平均 3.26%,干酪根演化处于过成熟阶段。

5.2 最高热解温度

最高热解温度(T_{max})是指烃源岩中有机质热解烃(S_2)峰的峰顶温度,其数值的高低与有机质热演化程度密切相关。一般认为 $T_{max} < 435^\circ\text{C}$ 处于未成熟演化阶段,435~440 $^\circ\text{C}$ 为低成熟演化阶段,440~450 $^\circ\text{C}$ 为成熟演化阶段,450~580 $^\circ\text{C}$ 为高成熟演化阶段,>580 $^\circ\text{C}$ 为过成熟演化阶段。

根据芒罕超克剖面阿木山组 99 件样品的热解分析数据统计, T_{max} 分布在 357~587 $^\circ\text{C}$ 之间,平均 467 $^\circ\text{C}$,其中 450~580 $^\circ\text{C}$ 的样品占 43.6%,>580 $^\circ\text{C}$ 的样品占 16.4%,以高成熟—过成熟样品为主(图 9)。由于 T_{max} 与有机质类型有关,测值波动较大,部分 $T_{max} < 435^\circ\text{C}$ 的可靠性较低,应是受有机质类型或地表剖面样品风化的影响。

5.3 伊利石结晶度

粘土矿物结晶度的不同代表成岩作用阶段的不同^[16]。对额济纳旗及其邻区石炭系—二叠系烃源岩镜质组反射率与伊利石结晶度 $K.I^\circ$ (半峰宽)的统计结果表明, R_o 与 $K.I^\circ$ 具良好的乘幂指示关系(图 10)。来自芒罕超克剖面阿木山组第 5、第 6 层的 2 件样品伊利石结晶度 $K.I^\circ$ (半峰宽)分别为 0.245 和 0.263,在回归曲线上对应的 R_o 应大于 3.0%。代表了烃源岩演化进入过成熟阶段,与镜质组反射率(R_o)确定的演化阶段相同。

综合镜质组反射率、最高热解温度、粘土矿物特征等指标,认为研究剖面有机质演化进入过成熟阶段。根据卢进才等^[3]总结的区内石炭系—二叠系烃源岩演化程度变化规律,额济纳旗及其邻区石炭

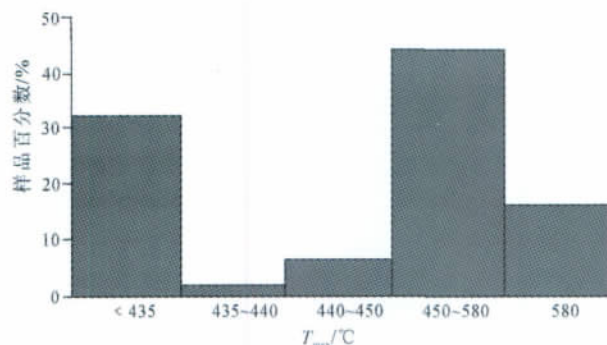


图 9 阿拉善右旗芒罕超克地区阿木山组烃源岩最高热解温度分布

Fig. 9 Distribution of maximum pyrolytic temperature of Amushan Formation source rocks in Manghanchaoke region of Alxa Right Banner

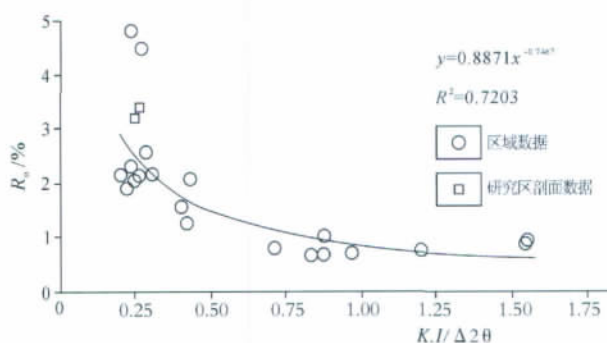


图 10 镜质组反射率(R_o)与伊利石结晶度($K.I^\circ$)的关系

Fig. 10 The relationship between vitrinite reflectance solid (R_o) and illite crystallinity ($K.I^\circ$)

系—二叠系烃源岩演化以成熟—高成熟阶段为主,在构造改造强烈的区带受构造动力变质作用的影响,或受沉积期后岩浆活动带侵入岩热接触变质作用的影响,部分剖面烃源岩演化达到过成熟。分析认为,芒罕超克剖面不仅位于构造改造强烈的区带,而且紧邻华力西晚期、印支期等侵入岩体,演化程度高主要是受构造动力变质作用和热接触变质作用的影响。因此认为,区内广泛分布的阿木山组烃源岩是石炭系—二叠系重要的烃源岩层段,应引起重视。

6 结 论

(1) 芒罕超克剖面阿木山组(C_2P_1a)第二岩性段发育厚度巨大的浅海陆棚相泥岩和粉砂质泥岩,烃源岩 TOC 含量中等—较高,纵向分布集中,是区内好烃源岩最集中的剖面之一。

(2)虽然地表剖面受风化作用的影响,常规干酪根类型评价指标受到一定的影响,但采用生物标志化合物指标——甾烷的相对含量能较好地划分区内干酪根的类型,区内烃源岩以Ⅱ型干酪根为主。

(3)虽然研究剖面有机质演化程度高,进入过成熟阶段,但主要是受构造动力作用和侵入岩热接触作用的影响,区内不存在区域变质,亦不影响区内广泛分布的阿木山组泥页岩作为重要的烃源岩。

致谢:项目组参与野外剖面测量与样品采集的同志付出了辛勤的劳动,在此表示感谢。

参考文献

- [1]卢进才,魏仙样,魏建设,等.内蒙古西部额济纳旗及其邻区石炭系—二叠系油气地质条件初探[J].地质通报,2010,29(2/3):330-340.
- [2]赵省民,陈登超,邓坚,等.内蒙古西部银根—额济纳旗地区石炭系—二叠系碳酸盐岩沉积模式及其石油地质意义[J].地质通报,2010,29(2/3):351-359.
- [3]卢进才,陈高潮,魏仙样,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.
- [4]卢双舫,张敏.油气地球化学[M].北京:石油工业出版社,2008:201-206.
- [5]胡见义,黄第藩,徐树宝,等.中国陆相石油地质理论基础[M].北京:石油工业出版社,1991:164-233.
- [6]钟宁宁,卢双舫,黄志龙,等.烃源岩生烃演化过程 TOC 值的演变及其控制因素[J].中国科学(D 辑),2004,34(增刊):120-126.
- [7]孟元林,肖丽华,杨俊生,等.风化作用对西宁盆地野外露头有机质性质的影响及校正[J].地球化学,1999,28(1):42-50.
- [8]卢双舫,薛海涛,钟宁宁.地史过程中烃源岩有机质丰度和生烃潜力变化的模拟计算[J].地质论评,2003,49(3):292-297.
- [9]熊永强,张海祖,耿安松.热演化过程中干酪根碳同位素组成的变化[J].石油实验地质,2004,26(5):484-487.
- [10]王万春,徐永昌,Schidlowski M,等.不同沉积环境及成熟度干酪根的碳、氢同位素地球化学特征[J].沉积学报,1997,15(增刊):133-137.
- [11]卢进才,魏仙样,魏建设,等.内蒙古西部额济纳旗及邻区石炭系—二叠系烃源岩干酪根 C 同位素的特征和影响因素[J].地质通报,2010,29(2/3):384-391.
- [12]姚丹姝,商岫岫.生物标记烃类在生油岩母质类型与成熟度判定中的应用[J].化学研究与应用,1998,10(5):498-500.
- [13]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):279-282.
- [14]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,1991:55-66.
- [15]卢双舫,王子文,付晓泰.镜质体成烃反应动力学模型的标定及其在热史恢复中的应用[J].沉积学报,1996,14(4):292-297.
- [16]焦玉国,李景坤,乔建华,等.伊利石结晶指数在岩石变质程度研究中的应用[J].大庆石油地质与开发,2005,24(1):41-44.