

# 苏北盆地高邮凹陷原油地球化学特征及成因类型

金秀辉, 李洪波, 张 敏, 田兴民

(长江大学 资源与环境学院, 油气资源与勘探技术教育部重点实验, 油气地球化学与环境湖北省重点实验室, 武汉 430100)

**摘要:**苏北盆地高邮凹陷蕴藏着十分丰富的油气资源, 勘探前景良好。根据原油物性、饱和烃和芳烃地球化学特征精细剖析, 对高邮凹陷多个典型油田原油的沉积环境、生源输入及成熟度等特征进行研究, 厘定高邮凹陷原油不同成因类型。研究表明, 高邮凹陷原油来源于具有一定水体咸度的还原性环境, 有机质生源为混合源, 属于成熟原油。根据原油沉积环境、母质来源和成熟度特征, 原油成因类型可划分为两大类: 第一类原油姥植比一般比较低, 补身烷/升补身烷比值一般接近 1 或者大于 1,  $C_{21}TT/C_{23}TT$  比值较低,  $C_{24}$  四环萜烷/ $C_{26}$  三环萜烷比值较小,  $C_{29}$  降萜烷/ $C_{30}$  萜烷比值较低, 规则甾烷  $C_{27}$ 、 $C_{28}$ 、 $C_{29}$  呈现不对称“L”形分布, 原油沉积环境为还原环境, 母质来源于混合型为主且高等植物输入稍高, 属于成熟原油, 此类原油主要分布在赤岸、陈堡、瓦庄和沙埝等油田; 第二类原油上述参数与第一类原油截然相反, 该类原油沉积环境的还原程度比一类油稍低, 母质来源属于典型的双重输入混合型, 相比于一类油高等植物占比较少, 属于成熟原油, 此类原油主要分布在马家嘴、邵伯、许浅 1 和黄珏等油田。

**关键词:**生物标志物; 地球化学特征; 成因类型; 苏北盆地; 高邮凹陷

**中图分类号:** P593 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2023)02-0232-07

高邮凹陷位于苏北盆地东台坳陷中南部, 是晚白垩世征运动 and 古新世吴堡运动作用下, 由于断块差异沉降而形成的箕状凹陷, 东西长约 110 km, 南北宽 22~32 km, 面积达 2 775 km<sup>2</sup><sup>[1]</sup>, 凹陷从南向北按三级构造<sup>[2]</sup>依次可划分为 3 个区块, 如图 1 所示, 分别为南部断阶带、中央深凹带和北部斜坡带。在 20 世纪 70 年代中期, 苏北盆地高邮凹陷油气勘探进入全面开发阶段, 经过 50 多年的勘探, 发现了多个油田, 南部断阶带发现了邵伯、许浅 1 和陈堡等油田<sup>[3-5]</sup>, 中央坳陷带发现了赤岸、马家嘴和黄珏等油田, 北部斜坡带发现了沙埝和瓦庄等油田(图 1), 探明石油储量超过 16 550×10<sup>4</sup> t, 呈现出较好的油气资源前景。

高邮凹陷构造复杂, 高邮凹陷两种主要烃源岩分别为古近系阜二段( $E_1f_2$ )和阜四段( $E_1f_4$ )<sup>[5]</sup>, 存在多种源岩生烃的特点; 而该区大面积形成的断裂为油气运移提供了良好的运输条件, 所以油气富集程度和规律在不同区段上也截然不同, 油藏中的油气来源存在一定的复杂性<sup>[6-8]</sup>。在南部断阶带构造特征和沉积特征等方面<sup>[9-11]</sup>, 前人也做过相关的大量研究, 原油成因特征研究局限于南断阶部分油田

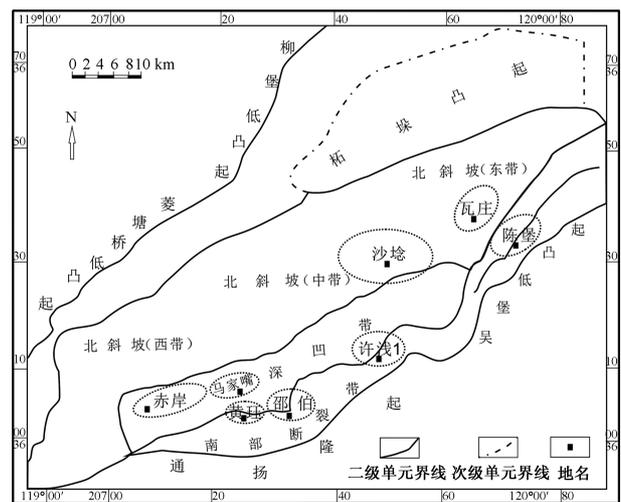


图 1 高邮凹陷构造分区与典型油田样品

(马家嘴、黄珏、邵伯等)<sup>[12-15]</sup>, 高邮凹陷整体油气描述以及原油成因类型划分的研究较为鲜见。本文通过对整个高邮凹陷典型油田(沙埝、瓦庄、陈堡、赤岸、马家嘴、黄珏、邵伯、许浅 1)原油地球化学特征剖析, 结合生源输入、沉积环境和原油成熟度特征, 划分原油成因类型, 以期为该凹陷下一步勘探提供有力地球化学特征依据。

**收稿日期:** 2022-08-11

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(42072165); 长江大学青年创新团队项目(PI2021-05)。

**作者简介:** 金秀辉(1993—), 男, 安徽六安人, 长江大学资源与环境学院, 硕士研究生, 研究方向为油气地球化学; 通信作者李洪波(1981—), 男, 湖北宜昌人, 长江大学资源与环境学院, 副教授, 油气地球化学博士, 研究方向为油气地球化学。

## 1 样品与试验

本研究共选取了赤岸、陈堡、沙埝、瓦庄、马家嘴、邵伯、许浅1、黄珏等油田中共40个原油样品,并且原油样品在平面上覆盖整个高邮凹陷原油控制区,在层位上覆盖到三垛组、戴南组、阜宁组、泰州组等主力产油层位<sup>[15]</sup>。原油样品进行饱和烃与芳烃气相色谱-质谱(GC-MS)分析,在进行饱和烃和芳烃色谱-质谱分析之前,需要先将原油中沥青质用正己烷沉淀,然后将脱沥青质原油用硅胶/氧化铝柱色层法分离成饱和烃、芳香烃和非烃。

饱和烃色谱-质谱分析条件:HPGC6890/5973MSD色谱/质谱仪,GC载气为99.999% He,载气流速为1 mL/min;色谱柱为HP-5MS,60 m×0.25 mm×0.25 μm;进样口温度为300 °C,升温程序为80 °C保持1 min,以3 °C/min升至310 °C,然后保持16 min;MS离子化方式为EI,电子能量为70 eV;数据采集方式为全扫描/多离子(SCAN/SIM)。

芳烃色谱-质谱分析条件:HPGC6890/5973MSD色谱/质谱仪,色谱柱为HP-5MS,60 m×0.25 mm×0.25 μm,汽化室温度为290 °C,进样方式是脉冲不分流进样且采用恒流模式,载气流速为1.0 mL/min。柱炉温的升温程序为:以20 °C/min升至100 °C,然后再以3 °C/min至310 °C,恒温18 min。质谱采用EI电离方式,电子能量为70 eV,接口温度为280 °C,采集方式为全扫描模式。扫描质量范围50~450 amu。标样为d10-蒎(全氧化蒎)。

## 2 结果与讨论

### 2.1 原油的物性

根据高邮凹陷统计中的20个原油物性分析数据,如图2所示,绝大多数原油密度的范围介于0.80~0.92 g/cm<sup>3</sup>,原油密度分布特征显示出高邮凹陷以中质油为主。原油黏度集中在5~20 mPa·s,73%的原油黏度落在该区间;原油凝固点均大于10 °C,绝大多数在20~40 °C,占原油总数的71%。综合来看,高邮凹陷以中质油为主,原油物性具有凝固点低、黏度低、密度低的“三低”特点。

### 2.2 原油饱和烃地球化学特征

#### 2.2.1 链烷烃系列化合物

高邮凹陷40件原油油样饱和烃馏分中,正构烷烃整体上呈现单峰态后峰型布形式。链烷烃色谱基线没有明显的“鼓包”,说明并未遭受生物降解作用,基线较为平直,碳奇偶优势不明显,呈现出成熟原油的特征。

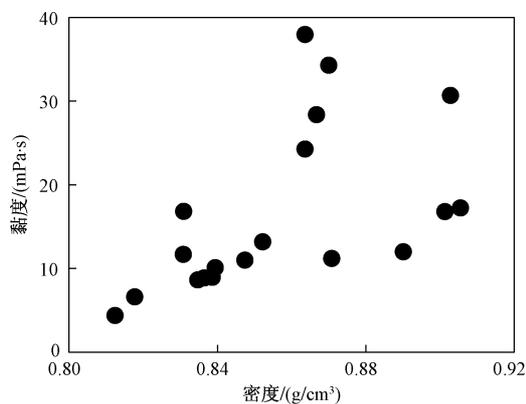


图2 高邮凹陷原油密度和黏度散点分布

正构烷烃主要分布于菌、藻类和高等植物等生物体中,在有机质演化过程中最稳定的化合物<sup>[16]</sup>。赤岸、陈堡、瓦庄和沙埝油田原油正构烷烃主要呈正态分布,碳数分布在nC<sub>10</sub>~nC<sub>35</sub>之间,主峰碳大多为nC<sub>19</sub>、nC<sub>22</sub>和nC<sub>25</sub>(图3),原油的(nC<sub>21</sub>+nC<sub>22</sub>)/(nC<sub>28</sub>+nC<sub>29</sub>)比值整体偏高,介于1.01~1.64;姥植比介于0.33~0.61,平均值为0.51;原油样品的CPI和OEP的值均大都分布在1.0左右,表明这类原油处于成熟原油;此类原油一般含有较高丰度的β-胡萝卜素,其β-胡萝卜素/nC<sub>37</sub>比值较高,比值一般都在大于3。

马家嘴、邵伯、许浅1和黄珏油田原油样品的正构烷烃中,碳数分布范围为nC<sub>10</sub>~nC<sub>35</sub>,主峰碳大多为nC<sub>22</sub>、nC<sub>23</sub>和nC<sub>30</sub>(图3),轻重比 $\sum C_{21-} / \sum C_{22+}$ 比值绝大部分介于0.64~1.57,(nC<sub>21</sub>+nC<sub>22</sub>)/(nC<sub>28</sub>+nC<sub>29</sub>)比值介于0.21~1.70;姥植比较接近,基本介于0.73~0.94,平均值为0.80;CPI和OEP的值均都在1.0左右,处于成熟原油;β-胡萝卜素/nC<sub>37</sub>比值基本上小于3。

姥植比和植烷的比值(Pr/Ph)以及Pr/nC<sub>17</sub>与Ph/nC<sub>18</sub>是反映沉积环境的重要参数<sup>[17]</sup>,从Pr/nC<sub>17</sub>与Ph/nC<sub>18</sub>参数变化图(图4)中可以看出,赤岸、陈堡、瓦庄和沙埝油田以及马家嘴、邵伯、许浅1和黄珏油田原油的Ph/nC<sub>18</sub>和Pr/nC<sub>17</sub>具有很好的正相关性,处于还原性沉积环境中。更进一步对比姥植比和β-胡萝卜素参数可以发现,赤岸、陈堡、瓦庄和沙埝油田姥植比低和β-胡萝卜素较高,表征出水体更咸盐度更高还原性更强。相比而言,马家嘴、邵伯、许浅1和黄珏油田姥植比上类原油稍高且β-胡萝卜素较低,从而表现出水体盐度相对稍低还原性相对稍弱。

#### 2.2.2 萜烷类化合物

在m/z 123质量色谱图中,赤岸、陈堡、瓦庄和沙埝油田以及马家嘴、邵伯、许浅1和黄珏油田原油

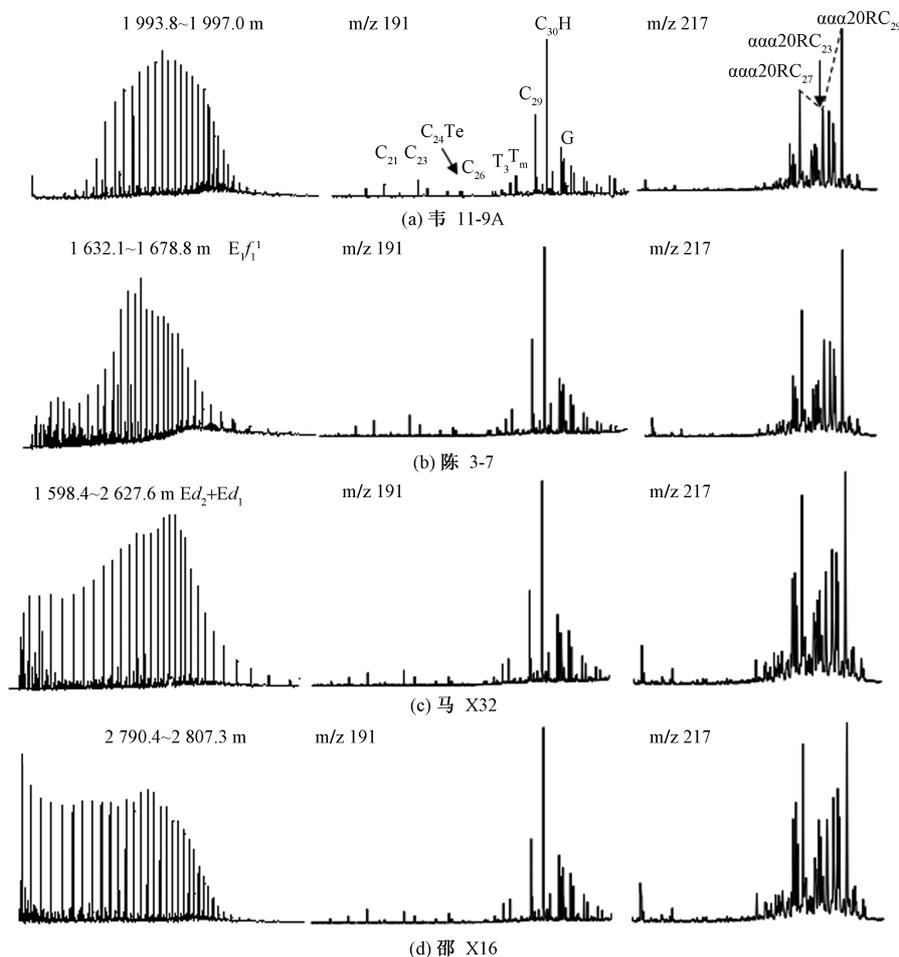


图 3 高邮凹陷部分典型原油的 TIC、191 和 217 质量色谱图

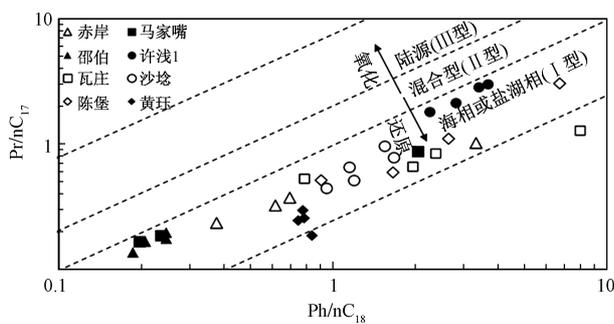


图 4 高邮凹陷原油  $Ph/nC_{18}$  和  $Pr/nC_{17}$  关系图

补身烷分布相似,都以补身烷、升补身烷含量较高为特征(图 5)。进一步细分可发现赤岸、陈堡、瓦庄和沙埕原油补升烷含量高于升补升烷含量,而马家嘴、邵伯、许浅 1 和黄珏油田补升烷含量要低于升补升烷含量(图 6)。

从  $m/z$  191 质量色谱图中可以看出,三环萜烷整体上呈现出正态分布(图 3)。赤岸、陈堡、沙埕和瓦庄的原油  $C_{21} TT/C_{23} TT$  比值主要介于 0.68~0.85,  $C_{24} Te/C_{26} TT$  的比值均小于 1.0(图 7),比值介于 0.55~0.98,主体范围为 0.68~0.88,平均为

0.77;而马家嘴、邵伯、许浅 1 和黄珏原油的  $C_{21} TT/C_{23} TT$  比值主要介于 0.84~1.17,  $C_{24} Te/C_{26} TT$  的比值基本上大于 1,介于 1.18~1.62,主体范围为 1.23~1.58,平均值为 1.35。

藿烷类化合物在原油中普遍存在,主要来源于细菌或原核生物的生物标志物<sup>[18-19]</sup>。赤岸、陈堡、瓦庄和沙埕原油样品的伽马蜡烷/ $C_{30}$ 藿烷比值介于 0.29~0.59,平均值 0.45,  $C_{29}$ 降藿烷/ $C_{30}$ 藿烷比值介于 0.45~0.57,平均值为 0.51,  $T_m$  值基本上高于  $T_s$  值;马家嘴、邵伯、许浅 1 和黄珏油田原油的伽马蜡烷/ $C_{30}$ 藿烷比值介于 0.42~0.52,整体上相较于赤岸、陈堡、瓦庄和沙埕原油伽马蜡烷/ $C_{30}$ 藿烷比值要偏低,这与前文所述的  $\beta$ -胡萝卜素参数表征的水体盐度分布特征相一致,  $C_{29}$ 降藿烷/ $C_{30}$ 藿烷比值介于 0.38~0.47,平均值为 0.42,  $T_m$  值高于  $T_s$  值。

原油中规则甾烷  $C_{27}$ 、 $C_{28}$  和  $C_{29}$  的相对含量可以反映有机质母源输入,一般认为规则甾烷  $C_{27}$  来源于藻类或低等水生生物,规则甾烷  $C_{29}$  主要来源于高等植物<sup>[18-19]</sup>。赤岸、陈堡、瓦庄和沙埕油田原油

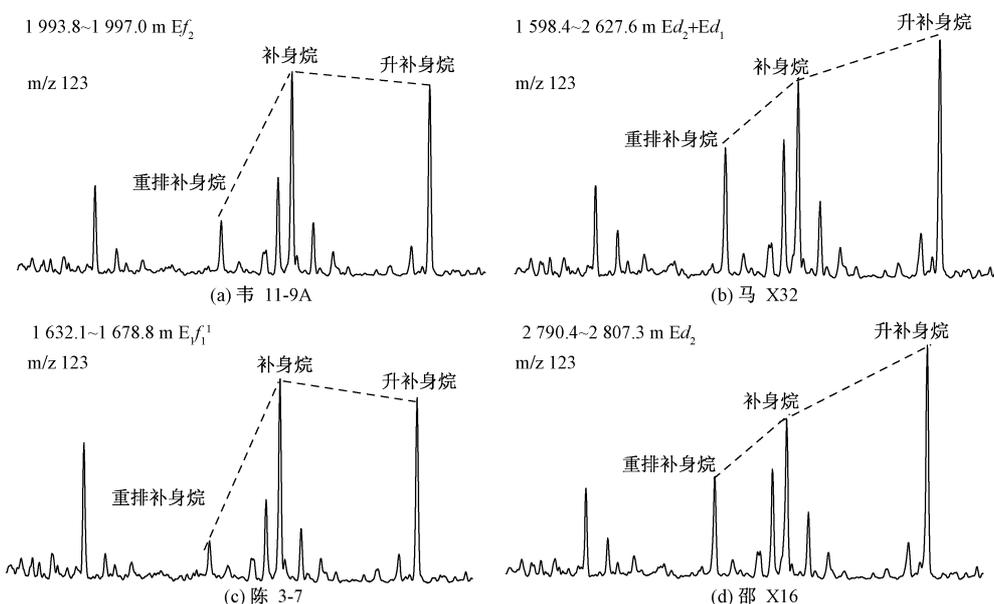


图5 高邮凹陷部分原油 m/z 123 质量色谱图

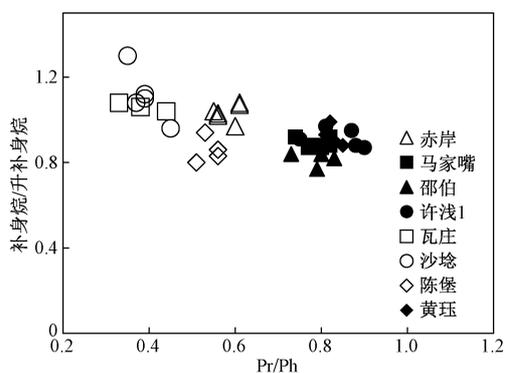


图6 原油补身烷/升补身烷与 Pr/Ph 比值关系

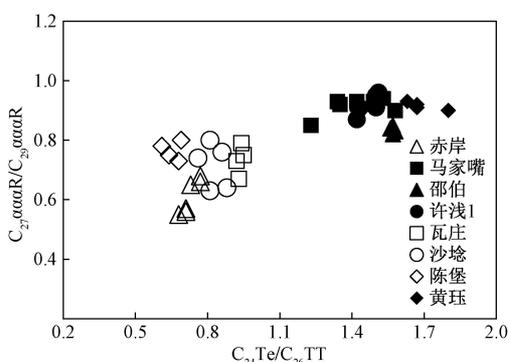


图7 原油  $C_{27}aaaR/C_{29}aaaR$  与  $C_{24}Te/C_{26}TT$  比值关系

的  $C_{27}aaaR$ 、 $C_{28}aaaR$  和  $C_{29}aaaR$  甾烷含量较为接近,  $C_{27}aaaR$  甾烷分布在 30.88%~33.70%, 平均为 31.85%,  $C_{28}aaaR$  甾烷介于 23.53%~27.98%, 平均为 25.75%, 其  $C_{29}aaaR$  甾烷介于 40.55%~44.74%, 平均为 42.40%, 即  $C_{29}\% > C_{27}\% > C_{28}\%$ ,  $C_{27}aaaR/C_{29}aaaR$  比值范围在 0.54~0.68(图7),

研究区所有原油样品均显示出  $C_{29}aaaR$  甾烷优势(图3)。

### 2.2.3 甾烷类化合物

原油中规则甾烷  $C_{27}$ 、 $C_{28}$  和  $C_{29}$  的相对含量可以反映有机质母源输入, 一般认为规则甾烷  $C_{27}$  来源于藻类或低等水生生物, 规则甾烷  $C_{29}$  主要来源于高等植物<sup>[18-19]</sup>。赤岸、陈堡、瓦庄和沙埝油田原油的  $C_{27}aaaR$ 、 $C_{28}aaaR$  和  $C_{29}aaaR$  甾烷含量较为接近,  $C_{27}aaaR$  甾烷分布在 30.88%~33.70%, 平均为 31.85%,  $C_{28}aaaR$  甾烷介于 23.53%~27.98%, 平均为 25.75%, 其  $C_{29}aaaR$  甾烷介于 40.55%~44.74%, 平均为 42.40%, 即  $C_{29}\% > C_{27}\% > C_{28}\%$ ,  $C_{27}aaaR/C_{29}aaaR$  比值范围在 0.54~0.68(图7), 研究区所有原油样品均显示出  $C_{29}aaaR$  甾烷优势(图3), 显示出不对称的反“L”字形, 表征原油母质来源为混合有机质, 陆源高等植物贡献稍占优势。而与之不同的是马家嘴、黄珏、许浅1、邵伯油田原油的  $C_{27}aaaR$ 、 $C_{28}aaaR$  和  $C_{29}aaaR$  甾烷含量(图3),  $C_{27}aaaR$  和  $C_{29}aaaR$  甾烷丰富,  $C_{28}aaaR$  甾烷相对较低,  $C_{27}aaaR$  甾烷分布平均在 31.58%~34.42%, 平均为 33.47%,  $C_{28}aaaR$  甾烷介于 28.76%~30.24%, 平均为 29.46%,  $C_{29}aaaR$  甾烷介于 35.46%~39.12%, 平均为 37.06%,  $C_{27}aaaR/C_{29}aaaR$  为 0.73~0.96, 接近于 1.0,  $C_{27}aaaR$ 、 $C_{28}aaaR$  和  $C_{29}aaaR$  相对组成分布呈典型对称的“V”字形(图3), 与赤岸和陈堡等油田的特征截然不同, 表明母质来源是水生生物和高等植物双重贡献, 高等植物优势不明显。

从  $C_{27}$ - $C_{28}$ - $C_{29}$   $\alpha\alpha\alpha$ (R) 甾烷分布三角图(图 8)中可知,赤岸、陈堡、瓦庄和沙埕油田以及马家嘴、黄珏、许浅 1、邵伯油田原油样品点均分布在 III 区,母质来源于混合型。更进一步观察,赤岸、陈堡、瓦庄和沙埕油田样品点稍偏向于 II 区,表明陆源输入较马家嘴、黄珏、许浅 1、邵伯油田略多一点,整体上仍以混合生源为主。

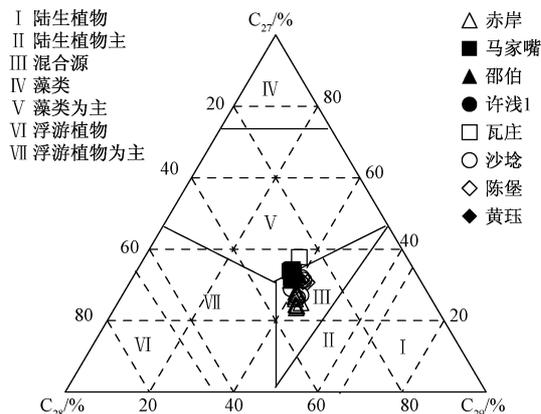


图 8 原油  $C_{27}$ - $C_{28}$ - $C_{29}$  甾烷三角图

随着原油成熟度增加, $C_{29}$  甾烷热稳定性差的 R 构型将向 S 构型转变, $\alpha\alpha$  构型向  $\beta\beta$  构型转变,当 Ro 在 1.0 左右达到平衡值,因此可以作为衡量原油成熟度的指标<sup>[18]</sup>。从  $C_{29}$ - $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$  和  $C_{29}$   $\alpha\alpha\alpha$ -20S/(20S+20R) 比值关系图可以看出(图 9),赤岸、陈堡、瓦庄和沙埕油田以及马家嘴、黄珏、许浅 1、邵伯油田原油  $C_{29}$ - $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$  比值介于 0.25~0.45,平均值为 0.35, $C_{29}$   $\alpha\alpha\alpha$ -20S/(20S+20R) 比值介于 0.2~0.48,平均值为 0.38,均属于成熟原油。

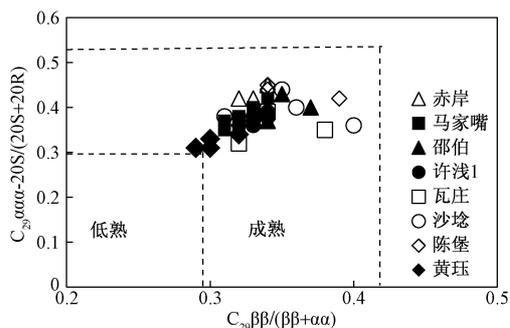


图 9 原油  $C_{29}$ - $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$  和  $C_{29}$   $\alpha\alpha\alpha$ -20S/(20S+20R) 比值关系图

### 2.3 原油芳烃地球化学特征

芳烃是原油的另一个重要的族组分,通常占原油 15%~30%,可以提供丰富的沉积环境和有机质热演化地球化学信息<sup>[20-21]</sup>。高邮凹陷各油田芳烃总量平面图可以看出(图 10),与饱和烃两种分布

特征一致的是:马家嘴、黄珏、方巷、邵伯与许浅 1 原油芳烃总量丰富,浓度大于 3.0 mg/g 油;而赤岸、陈堡和沙埕原油芳烃总量相对较低,浓度小于 3.0 mg/g 油。同时马家嘴、黄珏和邵伯原油萘系列总量多位于 2.0 mg/g 以上,赤岸与陈堡油田多位于 2.0 mg/g 以下。菲系列绝对含量差异不明显,基本都小于 1.0 mg/g。

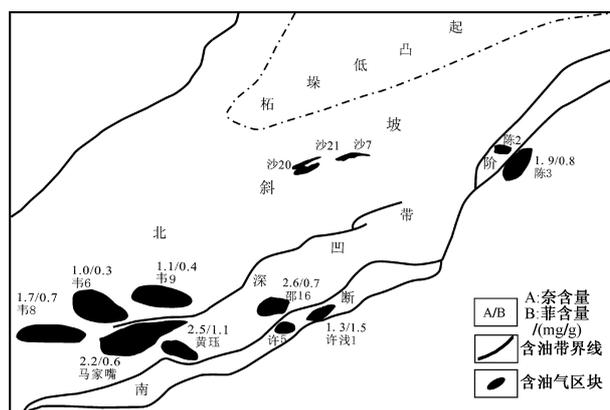


图 10 高邮凹陷原油芳烃绝对含量平面分布

芳烃组成中含氮、氧、硫的二苯并噻吩系列(硫芬-SF)、二苯并呋喃系列(氧芬-OF)和芬(F),可能来源于同种先质,其基本化合物分子骨架中都有一个五元环。在强还原条件下,如海相、盐湖相等,硫很容易被替换到芬分子骨架中,从而形成硫芬;在沼泽浅水环境中比较丰富的游离氧,从而很容易和芬分子结合形成氧芬,从而可见,硫芬和氧芬的分布主要受控于沉积环境<sup>[22]</sup>。高邮凹陷的原油样品中硫芬含量大约占 20.80%~37.57%。不同地区原油三芬分布存在一定的差异,马家嘴油田、邵伯油田和许浅 1 的原油三芬系列中硫芬相比较赤岸油田稍低;赤岸油田则芬硫芬含量相对稍高(图 11),表明其源岩沉积环境还原性相对马家嘴油田、邵伯油田和许浅 1 略强,此结果与前文所述中的赤岸油田姥植比较低、 $\beta$ -胡萝卜素烷较高和伽马蜡烷稍低等特征相一致。

### 3 原油成因类型划分

高邮凹陷发育的烃源岩主要有两套,分别为  $E_1 f_2$  烃源岩和  $E_1 f_4$  烃源岩<sup>[23]</sup>,基于前文对饱和烃和芳烃地球化学特征的剖析,剔除受成熟度、运移分异或生物降解作用影响明显的指标,本文根据高邮凹陷典型原油饱和烃和芳烃组成及相关参数的分布特征,将高邮凹陷典型原油分为两大类。

高邮凹陷第 I 类原油一般姥植比一般比较低,介于 0.33~0.61,平均值为 0.51;在萘烷方面补身

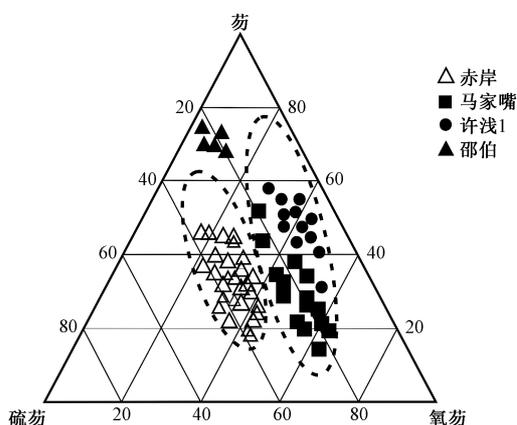


图 11 高邮凹陷部分原油三芴系列化合物组成三角图

烷、升补身烷含量较高,重排补身烷含量较低,补身烷/升补身烷比值一般接近 1 或者大于 1;  $C_{21} TT/C_{23} TT$  比值比较低,介于 0.67~1.02,平均值为 0.86;  $C_{24}$  四环萜烷/ $C_{26}$  三环萜烷比值比较小,介于 0.60~0.98,平均值为 0.83;  $C_{29}$  降藿烷/ $C_{30}$  藿烷比值介于 0.45~0.57,平均值为 0.51; 伽马蜡烷/ $C_{30}$  藿烷于 0.22~0.59,平均值为 0.38。在甾烷方面,规则甾烷  $C_{27}$ 、 $C_{28}$ 、 $C_{29}$  呈现不对称“V”型分布,  $C_{27}$  规则甾烷含量低于  $C_{29}$  规则甾烷,其中  $C_{27}$  甾烷/ $C_{29}$  甾烷的比值介于 0.54~0.69,平均值为 0.63,  $C_{27}$  重排甾烷/ $C_{27}$  规则甾烷比值介于 0.05~0.12,平均值为 0.08; 在芳烃方面,芳烃总量相对较低,浓度小于 3.0 mg/g 油,硫芴含量相对较高。结合高邮凹陷阜二段和阜四段主力烃源岩的地球化学特征<sup>[23]</sup>,可以判断 I 类原油来源于阜二段烃源岩,这类原油主要集中在赤岸、陈堡、瓦庄和沙埕油田。

高邮凹陷第 II 类原油一般比值都在小于 2; 而姥植比一般比较低,介于 0.73~0.94,平均值为 0.80; 在萜烷方面补身烷、升补身烷含量较高,重排补身烷含量较低,补身烷/升补身烷比值一般都小于 1;  $C_{21} TT/C_{23} TT$  比值比较高,介于 0.81~1.17,平均值为 0.91;  $C_{24}$  四环萜烷/ $C_{26}$  三环萜烷比值较高,介于 1.14~1.68,平均值为 1.47;  $C_{29}$  降藿烷/ $C_{30}$  藿烷比值介于 0.38~0.47,平均值为 0.42。伽马蜡烷/ $C_{30}$  藿烷比值介于 0.37~0.52,平均值为 0.45; 甾烷方面,规则甾烷  $C_{27}$ 、 $C_{28}$ 、 $C_{29}$  呈现典型的“V”型分布,其中  $C_{27}$  甾烷/ $C_{29}$  甾烷的比值介于 0.73~0.91,平均值为 0.82,  $C_{27}$  重排甾烷/ $C_{27}$  规则甾烷比值介于 0.11~0.18,平均值为 0.14; 在芳烃方面,芳烃总量丰富,浓度大于 3.0 mg/g 油,硫芴含量相对较低。结合高邮凹陷阜二段和阜四段主力烃源岩的地球化学特征<sup>[23]</sup>,可以判断 II 类原油来源于阜四

段烃源岩,这类原油主要集中分布在马家嘴油田、黄珏油田、邵伯油田、许浅 1 油田。

## 4 结论

1) 高邮凹陷具有两种不同地球化学特征原油分布,赤岸、陈堡、瓦庄和沙埕油田原油来源于较还原沉积环境、母质输入来源于混合型且高等植物稍占优势,属于成熟原油。马家嘴、黄珏、邵伯和许浅 1 油田原油来源于还原沉积环境、母质输入来源于典型混合型,属于成熟原油。

2) 根据原油饱和烃生物标志化合物和芳烃组成及相关参数的分布特征,以及姥植比、补身烷/升补身烷、 $C_{24} Te/C_{26} TT$ 、 $C_{27} \alpha\alpha R / C_{29} \alpha\alpha R$  比值、芳烃总量和硫芴含量等参数将高邮凹陷典型原油划分为两大类,第一大类原油可能来源于阜二段烃源岩,第二大类原油可能来源于阜四段烃源岩。

## 参考文献

- [1] 邓丽娟,夏连军,张列平,等. 苏北盆地隐蔽油气藏勘探方法探讨:以高邮凹陷为例[J]. 复杂油气藏,2009,2(1): 14-19.
- [2] 赵金岷,曹东方,刘玉民,等. 油页岩原位水平井开采流-热-固耦合数值模拟[J]. 科技与产业,2022,22(1): 329-337.
- [3] 朱平. 江苏油田油气藏基本特征及其分类[J]. 断块油气田,2001(5):12-15,73-74.
- [4] 钱基. 苏北盆地油气田的形成与分布特征[J]. 石油大学学报(自然科学版),2000(4):21-25,124.
- [5] 江夏,周荔青. 苏北盆地富油气凹陷形成与分布特征[J]. 石油实验地质,2010,32(4):319-325.
- [6] 吴向阳,李宝刚. 高邮凹陷油气运移特征研究[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2006,30(1):22-25.
- [7] 叶绍东,钱诗友,李兴丽. 混源油色谱指纹定量判析及其勘探意义:以高邮凹陷南部断裂带为例[J]. 石油实验地质,2015,37(6):770-775.
- [8] PETERS K E, MOLDOWAN J M. The biomarker guide: interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments[M]. Englewood Cliff, NJ: Prentice-Hall, 1993: 160-164.
- [9] 马晓鸣,戴俊生. 高邮凹陷南部断阶带构造演化特征[J]. 新疆石油地质,2007,28(4):476-479.
- [10] 张继标,戴俊生,王彤达,等. 高邮凹陷南断阶西部断裂特征及其成因机制[J]. 西安石油大学学报(自然科学版),2012,27(3):29-34,40.
- [11] 戴俊生,王霞田,季宗镇,等. 高邮凹陷南断阶东部阜三期构造应力场及其对断层的控制作用[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2011,35(2):1-5,19.
- [12] 马文睿,傅强,谭思哲. 高邮凹陷黄珏-马家嘴地区戴南组重力流沉积及其成因[J]. 地球科学:中国地质大学学报,2014,39(5):601-610.

- [13] 李佳阳,包建平.苏北盆地高邮凹陷方巷油田和黄 88 断块原油地球化学特征[J].科学技术与工程,2016,16(35):15-21,33.
- [14] 周健,林春明,李艳丽,等.苏北盆地高邮凹陷马家嘴地区古近系戴南组物源分析[J].沉积学报,2010,28(6):1117-1128.
- [15] 王昌军,张敏.高邮凹陷陈堡油田原油轻烃地球化学特征[J].科学技术与工程,2016,16(24):153-156.
- [16] 胡明安.正构烷烃的成矿意义:以广西田林高龙卡林型金矿为例[J].地球科学,2003,28(3):301-305.
- [17] 董才源,刘震,李储华,等.苏北盆地高邮凹陷断层页岩性油藏断层封闭性研究[J].断块油气田,2013,20(6):686-689.
- [18] 袁际华,柳广弟.苏北盆地泰州组原油有机地球化学特征及成因[J].西南石油大学学报,2007,29(6):34-38,205-206.
- [19] 吴希光,李亚林,张孟,等.复杂地区地震资料低信噪比的原因及对策(一)—表层散射波是导致地震资料低信噪比的根本原因[J].天然气工业,2012,32(1):27-32,119-120.
- [20] 彭坤,周成刚,石黎明,等.乌什凹陷神木园地区白垩系舒善河组层序地层及沉积特征[J].科技与产业,2022,22(2):365-375.
- [21] 李水福,何生.原油芳烃中三芘系列化合物的环境指示作用[J].地球化学,2008,37(1):45-50.
- [22] 张伟忠,张卫海,陈强.高邮凹陷西部地区构造样式特征及其油气勘探意义[J].科学技术与工程,2011(13):3055-3058.
- [23] 吴向阳,李宝刚.高邮凹陷油气运移特征研究[J].中国石油大学学报(自然科学版),2006,30(1):22-25.

## Geochemical Characteristics and Genetic Type of Crude Oil in Gaoyou Sag of Subei Basin

JIN Xiuhui, LI Hongbo, ZHANG Min, TIAN Xingmin

(Key Laboratory of Oil and Gas Resources and Exploration Technology, Hubei Provincial Key Laboratory of Oil and Gas Geochemistry and Environment, School of Resources and Environment, Yangtze University, Wuhan 430100, China)

**Abstract:** Gaoyou sag in Subei basin is rich in oil and gas resources and has good exploration prospects. Based on the detailed analysis of crude oil physical properties, the geochemical characteristics of saturate and aromatic hydrocarbons, the sedimentary environment, source input and maturity of crude oil from several typical oilfields in Gaoyou sag were studied, and the different genetic types of crude oil in Gaoyou sag were determined. It is found that the crude oil in Gaoyou sag comes from the reducing environment with high salinity, and the source of organic matter is a mixed source, which belongs to mature crude oil. According to the sedimentary environment, parent material source and maturity characteristics of crude oil, the genetic types of crude oil can be divided into two categories: the first type of crude oil generally has a low planting ratio, the ratio of  $C_{15}8\beta$  (H)-drimane /  $C_{16}8\beta$  (H)-homodrimane is generally close to or greater than 1, the ratio of  $C_{21}TT$  /  $C_{23}TT$  is low, the ratio of  $C_{24}$  tetracyclic terpane /  $C_{26}$  tricyclic terpane is small, the ratio of  $C_{29}$  norhopane /  $C_{30}$  hopane is low, and the distribution of regular steranes  $C_{27}$ ,  $C_{28}$  and  $C_{29}$  is asymmetric "L". The sedimentary environment of crude oil is reductive environment. The parent material is mainly from mixed type, and the input of higher plants is slightly higher. It belongs to mature crude oil. This kind of crude oil is mainly distributed in Chian, Chenbao, Wazhuang, Shanian and other oilfields; The above parameters of the second type of crude oil are completely opposite to the first type of crude oil, and the reduction degree of the sedimentary environment of this type of crude oil is slightly lower than that of the first type of crude oil; The source of parent material belongs to the typical dual input mixed type. Compared with class I oil, higher plants account for less and belong to mature crude oil. This kind of crude oil is mainly distributed in Majiazui, Shaobo, Xuqian 1 and Huangjue oil fields.

**Keywords:** biomarkers; geochemical characteristics; genetic type; Subei Basin; Gaoyou Sag