

文章编号: 1001-6112(2007)04-0397-05

# 苏北盆地油源判别指标研究

陈安定

(中国石油化工股份有限公司 江苏油田分公司 地质科学研究院, 江苏 扬州 225009)

**摘要:** 苏北盆地有上白垩统泰州组二段、古新统阜宁组二段、四段 3 套油源, 母岩干酪根性质和地质环境十分接近, 通过一般的地球化学指标很难彻底区分它们, 为此因地制宜采用了多参数联合图版以及正烷烃分布、原生甾烷分布、三芳甾系列、二甲基卟啉系列等指标, 使 3 套油源达到有效区分。值得提出的是, 用于运移研究的二甲基卟啉系列分布在同源油之间也表现出惊人的稳定性, 并且提供出进一步细分油源的指纹信息。

**关键词:** 正烷烃; 三芳甾; 卟啉; 油源判别; 苏北盆地

**中图分类号:** TE122.1

**文献标识码:** A

## RESEARCH ON INDICATORS OF OIL-SOURCE CORRELATION IN THE SUBEI BASIN

Chen Anding

(Geological Research Institute of Jiangsu Oilfield Company, SINOPEC, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

**Abstract:** There are three sets of oil source rock in the Subei Basin. They are the Second Member of Taizhou Formation in the Upper Cretaceous, the Second Member and the Fourth Member of Funing Formation in the Paleocene. Their kerogen properties and geological environments are similar. They are difficult to be distinguished by using common indexes. For this reason, a multi-parameter plate and such indicators as normal alkane, primary sterane, triaromatic steroid series and dimethyl carbazole series have been suggested and triumphantly used for source-rock identification in the Subei Basin. It is recommendable that the dimethyl carbazole series being used for oil-gas migration researches show the amazing stability in discrimination of the oils with the same sources. This provides a detail fingerprint information on the further division of oil origins.

**Key words:** normal alkane; triaromatic steroid; carbazole; oil-source correlation; the Subei Basin

### 1 烃源岩特征

苏北盆地是多油源复合的盆地<sup>[1~3]</sup>, 在金湖凹陷有 2 套油源, 高邮、溱潼、海安有 3 套油源。苏北盆地 3 套油源的母岩分别是: 上白垩统泰州组二段(底部约 30 m 厚)和古新统阜宁组二段、四段(上亚段)暗色泥灰岩、灰质泥岩。

苏北盆地 3 套源岩具有共性。首先, 它们均形成于坳陷盆地的半深湖—深湖环境。苏北盆地经历坳陷(泰州组  $K_2t$ —阜宁组  $E_1f$ )—断陷(戴南组  $E_2d$ —三垛组  $E_2s$ —盐城组一段  $N_1y^1$ )—坳陷(盐城组二段  $N_1y^2$ ) 3 个演化阶段, 3 套生油层均形成

于坳陷期半深湖—深湖环境。其次, 它们均形成于湖盆咸化期。源岩岩性以灰质泥岩、泥灰岩为主, 具有类似于海相沉积物的 Sr/Ba 及 B/Ga 比值; 电阻率通常为一系列尖峰, 阜四上段为“稀疏尖峰”, 阜二段为“七尖峰”、“四尖峰”, 泰二底为“六尖峰”。第三, 它们均具海、陆相 2 种生物先驱。3 套层系中既有陆生的介形类、腹足类、瓣鳃类、叶肢类、藻类、孢子、花粉等, 又有“似海相”有孔虫、多毛纲龙介虫、膨胀新单角介、鲨鱼牙、鲱鱼、钙质超微化石、沟鞭藻等, 藻类种属单调, 数量多, 以钵球藻、费罗姆球藻属、粘球藻占优势。第四, 生油层丰度高, 品质优(均为腐泥—混合型干酪根, 并以阜二段最典

收稿日期: 2006-12-26; 修订日期: 2007-06-20。

作者简介: 陈安定(1946—), 男(汉族), 教授级高级工程师, 从事油气地质地球化学研究工作。

基金项目: 中国石化集团公司科技攻关项目(P02067)。



型),均衡发育,差异成熟,沉积于坳陷期,成熟于断陷期。

苏北盆地3套源岩的个性特征也很明显。阜四段来源油具弱植烷优势至姥植均势,贫 $\beta$ -胡萝卜素,甾烷相对丰富,三芳甾、甲基三芳甾丰度近似相等,贫三环萜,主峰碳常呈奇数,如 $C_{23}$ 、 $C_{25}$ 。阜二段来源油具强植烷优势,  $(Ph/nC_{18})/(Pr/nC_{17})$  比值大,富 $\beta$ -胡萝卜素,甾烷相对丰富,三芳甾大于甲基三芳甾,三环萜相对五环三萜略高于其它两种陆相原油,主峰碳常呈偶数,如 $C_{22}$ 。泰州组来源油具植烷优势至姥植均势,富 $\beta$ -胡萝卜素,甾烷相对丰富,三芳甾小于甲基三芳甾,贫三环萜,主峰碳偏向高碳数,如 $C_{27}$ 、 $C_{28}$ 、 $C_{30}$ 等。

以上规律是从统计角度上来讲的。实际情况是,很多指标在层与层之间缺乏截然分界,如姥植比,阜二段油总体上要比阜四段、泰州组油低,但也存在“数据重叠”,对于介乎两者之间的分布,将很难断定其归属。指标是母质、环境、演化的综合反映,地质背景相似,出现相同化合物分布也很正常。对于苏北这样一个多烃源,且母质和环境相近的盆地来说,仅依靠少数项目和指标不能完成油源判别,除采用多指标相互验证外,理想的是找到各层更具个性化的指标。

## 2 多参数联合图版

图1为多参数油源判别图版,该图版结合了姥植比、植烷、甾烷、三萜烷4项参数。X轴坐标为 $\lg 2[(Ph/nC_{18})/(Pr/nC_{17})]/(Pr/Ph)$ ,阜二段来源油显示强植烷优势,  $Pr/Ph$  比值小而  $(Ph/nC_{18})/(Pr/nC_{17})$  比值大,阜四段、泰州组来源油显示弱植烷优势至姥植均势,  $Pr/Ph$  比值大而  $(Ph/nC_{18})/(Pr/nC_{17})$  比值小,两者相除则扩大了它们的差别,便于区分。Y轴为 $\lg 2.5(H/S)/SM$ ,  $H/S$  为 $C_{30}$ 藿烷与 $\alpha\alpha C_{29}(20R)$ 甾烷比值,此值随成熟度增加而增大(在成熟演化中甾烷更易被芳构化而减少),为消除成熟度影响,除以甾烷成熟度参数 $SM——\alpha\alpha C_{29}[20S/(20S+20R)]$ ,可达到不受成熟度干扰而主要显示甾烷差异之目的。该参数主要用于阜四段来源油与阜二段、泰州组来源油区分。

图1(上)为源岩图版。落在图中的3套源岩样品明显分为3个区,左下角为泰州组源岩,左上角为阜四段源岩,右下角为阜二段源岩。当然,也有少数交叉分布样点。

图1(下)为该图版对原油样的区分,区分结果与地质情况相吻合。如高邮深凹始新统三垛组、戴

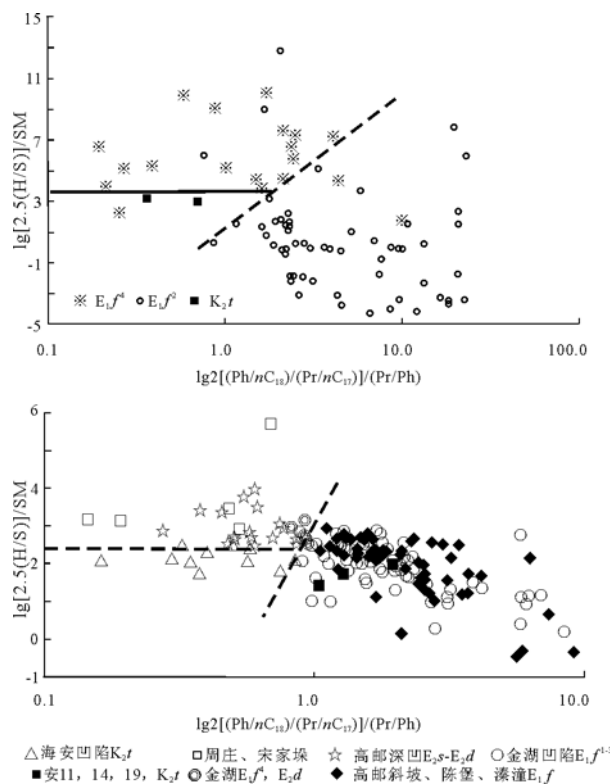


图1 联合图版区分苏北盆地

3套源岩(上)和3种来源油(下)

Fig. 1 Distinguishing of three sets of source rock (above) and oils from different source rocks (under) in the Subei Basin by 'combined plate'

南组油样主要来自阜四段源岩(阜二段在深凹断缺),高邮凹陷斜坡以及金湖凹陷阜宁组储集油主要来自阜二段源岩,海安凹陷泰州组和阜一段油主要来自泰二段源岩等。不过,从图版中也看到,源岩和原油在图中的分界有所不同。

联合图版的优点是可以同时区分3种油源,而且在高邮凹陷应用效果较好,但在金湖、海安却遇到了麻烦。海安的泰二段和金湖的阜四段源岩均具有“两重性”和“中间”特征:海安泰二段既有姥植均势、 $\gamma$ -蜡烷低等代表淡—微咸腐泥特征的源岩,也有强植烷优势、 $\gamma$ -蜡烷高等相似于阜二段典型咸水—腐泥特征的源岩<sup>[4]</sup>,该凹陷安11、安14、安19井等储于泰州组一段的油(位于泰二段源岩下部,远离阜二段源岩),根据排烃和运移路径判断只能来自泰二段,但在图1中却落在阜二来源区;而金湖凹陷储于戴南组、阜四段的油根据排烃和运移路径判断应来自阜四段,样品点则处在图1阜二源与阜四源交界线上,其姥植比、甾烷化合物分布与阜二来源油十分接近。所以,单利用这两种标志性化合物已不够用。



### 3 正烷烃、原生甾烷分布

经过分析,找到了区分苏北盆地3套原油更具“个性化”的指标——正烷烃和原生甾烷分布。

图2(上)展示了3套源岩的正烷烃分布。阜四段源岩在低熟阶段主要显示奇碳优势(左一,  $C_{23}$ ,  $C_{25}$ 等),成熟后显示奇偶均势或圆顶分布(左二);阜二段源岩显示独特的  $C_{22}$  尖顶分布,至成熟后仍不变(右二);泰州组源岩显示高碳数主峰,其主峰通常为  $C_{28}$ ,  $C_{30}$ ,  $C_{27}$  (右一)。

图2(中)为海安凹陷待判别油,疑似阜二段来源的安11、安14、安19井3个样品(右一)从正烷烃分布看与典型泰州组来源油相似,主峰为  $C_{28}$ ,  $C_{30}$ ,这与典型的海安凹陷阜二段来源油“ $C_{22}$ 尖顶”不同。它们有较强的植烷优势(Pr/Ph 比值为 0.33~0.54),与其它凹陷的阜二段来源油(Pr/Ph 值为 0.1~0.6)易于混淆,但与同凹陷的阜二段来源油(Pr/Ph 值为 0.23~0.30)相比仍然偏高,据此并结合地质情况分析推断它们应属泰州组来源。

金湖凹陷有桥7井  $E_2 d^1$ 、墩2-2井  $E_2 d^1$ 、王3

井  $E_1 f^3$  等7个油样用联合图版判别归属含糊,但其正烷烃分布具“ $C_{22}$ — $C_{23}$ 平顶主峰”或“ $C_{23}$ 尖顶”特征,而来自阜二段的油通常是  $C_{22}$  尖顶且为主峰,或  $C_{22}$  尖顶、 $C_{28}$  主峰(图2下)。

上述正烷烃分布具“ $C_{22}$ — $C_{23}$ 平顶”特征的油样,同时原生甾烷  $\alpha\alpha\alpha C_{27}$  (20R),  $\alpha\alpha\alpha C_{28}$  (20R),  $\alpha\alpha\alpha C_{29}$  (20R) 分布上具“V”字形分布,而来自阜二段的油普遍具有“椅式”或直线分布,前者的  $C_{27}$  原生甾烷含量高,后者的  $C_{29}$  原生甾烷含量高,此点与源岩资料相呼应(图3)。从总体上看,这些具“V”字形分布的油其成熟度要低于“椅式”分布的油,如墩塘地区的上、下2套油其 SM 分别为 0.33, 0.42, 小关地区的上、下2套油其 SM 分别为 0.23, 0.38, 铜城地区的上、下2套油其 SM 分别为 0.23, 0.38 等,符合阜四、阜二2套源岩情况。不过,桥7井戴南组油虽然总体属于阜四段来源特征,但原生甾烷分布却相似于阜二段(图3),反映了阜二段来源油的混入。阜二段油的生标化合物含量一般较高,只要少量混入就有明显影响,该井位于石港断裂带,客观上也具有“混合”条件。

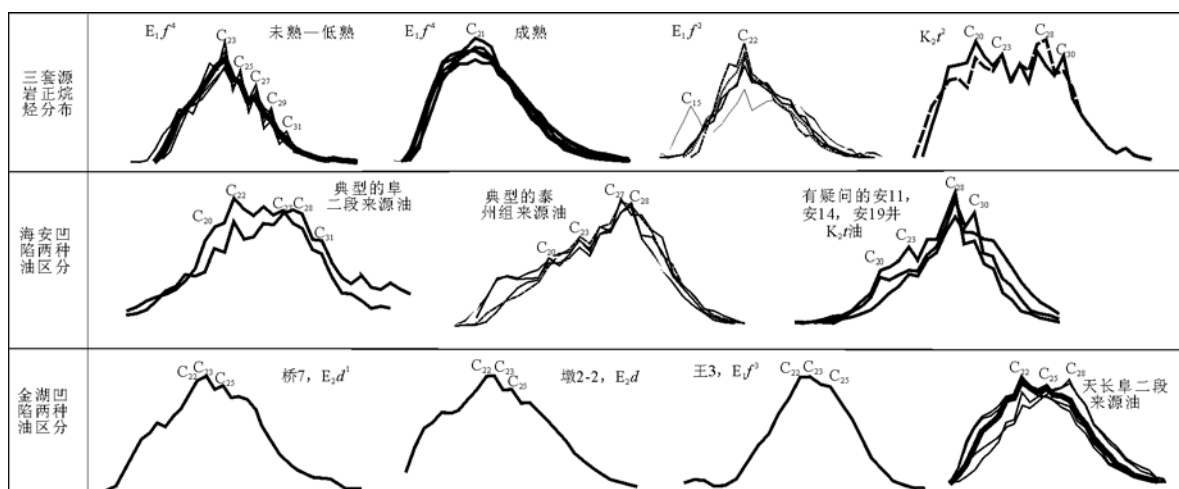


图2 苏北盆地金湖、海安凹陷源岩、原油正烷烃分布

Fig. 2 Distribution of  $n$ -alkane in source rocks and oils in Jinhu and Haian sags, the Subei Basin

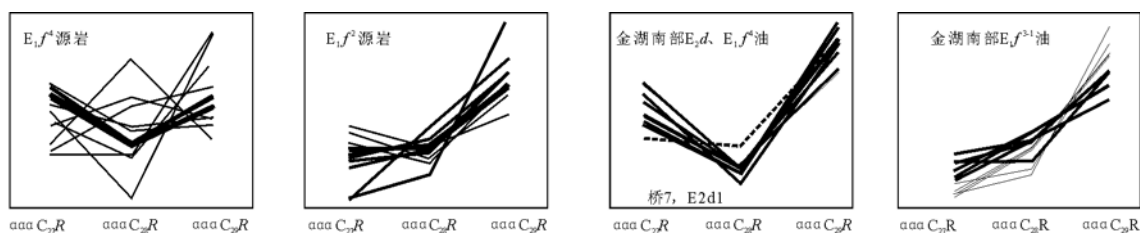


图3 天长地区阜二、阜四两套源岩及两种油的原生甾烷分布

Fig. 3 Distribution of original sterane in source rocks and oils in the Second and Forth Member in Tianchang area, the Jinhu Sag, the Subei Basin



## 4 三芳甾系列

由三芳甾系列反映的苏北盆地 3 套来源油也具有鲜明个性。如图 4 左列,阜四段来源油在  $m/z$  231 三芳甾系列和  $m/z$  245 甲基三芳甾系列中分别有 4 个肩峰(以★标注),其它 2 种来源油没有。它的三芳甾、甲基三芳甾系列总体面貌也与其它 2 种油区

分明,其三芳甾/甲基三芳甾比值为 1~1.3。阜二来源油(图 4 中列)与泰二来源油(图 4 右列)的三芳甾分布几乎一样,甲基三芳甾的总体分布,特别是 10,11,12 这 3 个峰的相对关系上却截然不同;阜二来源油三芳甾/甲基三芳甾为 1.3~2.2,泰二来源油三芳甾/甲基三芳甾为 0.5~0.6,两者区分明显。该指标在高邮、海安同源样品间可比性好。

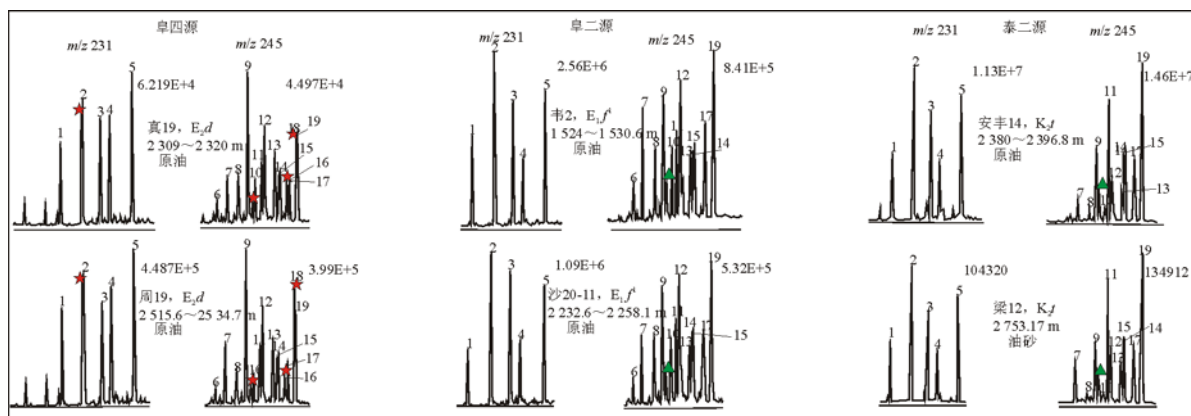


图 4 苏北盆地 3 种来源油的三芳甾、甲基三芳甾分布<sup>[5]</sup>

1.  $C_{26}(20S)$ 三芳甾烷;2.  $C_{26}(20R)$ 三芳甾烷 +  $C_{27}(20S)$ 三芳甾烷;3.  $C_{28}(20S)$ 三芳甾烷;4.  $C_{27}(20R)$ 三芳甾烷;5.  $C_{28}(20R)$ 三芳甾烷;6. 3-甲基- $C_{27}$ 三芳甾烷;7. 4-甲基- $C_{27}$ 三芳甾烷;8. 3-甲基- $C_{27}$ 三芳甾烷 + 3-甲基-24-甲基三芳甾烷;9. 4-甲基- $C_{27}$ 三芳甾烷 + 4-甲基-24-乙基三芳甾烷( $C_{29}$ );10,16. 3-甲基-24-乙基三芳甾烷( $C_{29}$ );11,14,15,17,19. 4, 23, 24-三甲基三芳甾烷( $C_{29}$ 三芳甲甾烷);12,18. 4-甲基-24-乙基三芳甾烷( $C_{29}$ )

Fig. 4 Distributions of triaromatic steroid and methyl triaromatic steroid in different origins of oil in the Subei Basin

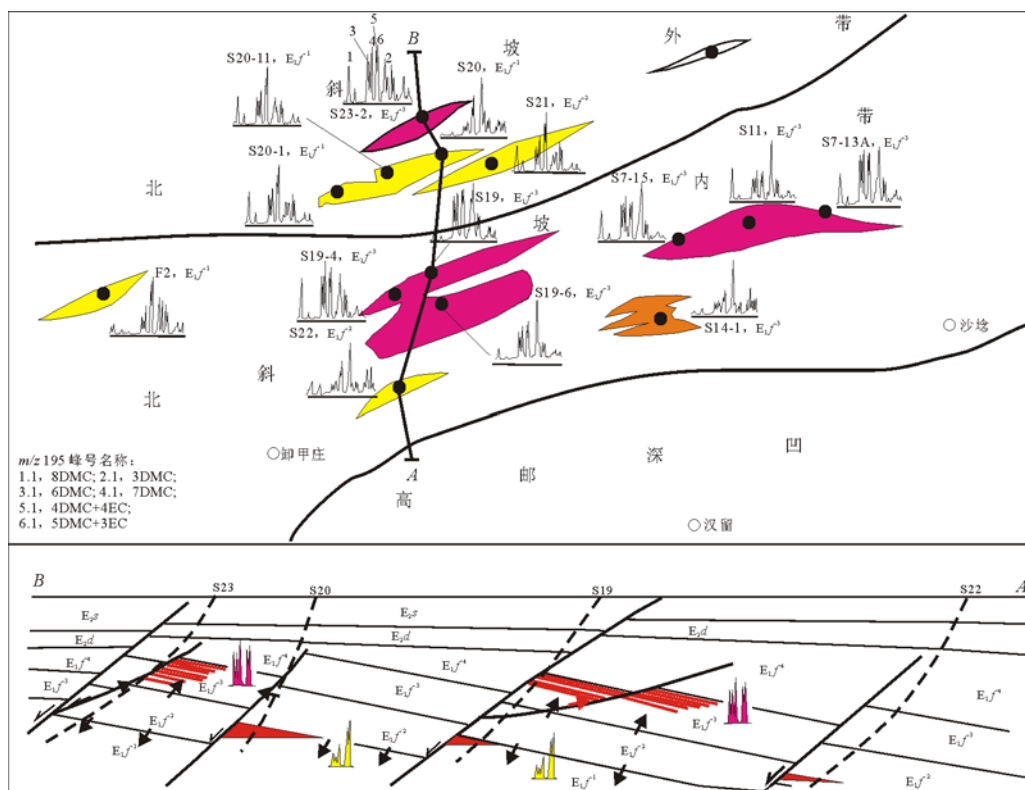


图 5 苏北盆地高邮凹陷沙埕地区原油中 2 种类型二甲基咔唑分布

Fig. 5 Distributions of the two kinds of dimethyl carbazole in the crude oil in Shanian area, the Gaoyou Sag, the Subei Basin



## 5 半屏蔽二甲基咔唑系列

咔唑系列化合物通常作为运移指标使用<sup>[6,7]</sup>,但在苏北盆地却是一项极为稳定的,也是更为“细化”的油源对比指标。

如图5所示,沙埕地区阜宁组有2套产油层,一套是位于阜二段之上的阜三段,另一套是位于阜二底及阜二段之下的阜一段,这2套产层的半屏蔽二甲基咔唑截然不同(图5中2~4号峰相对5~6号峰丰度等),但其姥植比、甾萜分布相同(因都来自阜二段油源)。含氮化合物不同的唯一解释是,它们分别来自阜二段源岩不同部位,阜三段油来自阜二上部,阜一段油来自阜二下部。

另一个例子是在金湖凹陷的卞闵杨地区。卞闵杨隆起东南以杨村断裂与菱塘桥凸起分隔,东北、西南分别被龙岗次凹、汜水次凹夹持,油源来自两边次凹。根据资料判别,这里的油均属阜二来源,但半屏蔽二甲基咔唑(图6中2~6号峰)有4种不同类型,区别主要在2,3,4号峰或它们相对5,6号峰的丰度,尽管差别不大,但同类型样品间相似度极高:类型I分布在闵北的M15-1, M18-1A, M7阜二段储层,成熟度低(SM为0.23~0.29),应来自龙岗次凹或就近母岩;类型II分布在卞东油田向北至M24-1的阜二段储层(SM为0.30~0.33),代表来自龙岗次凹北部沿阜二段砂体向东运移的一个聚集带;类型III分布在杨家坝油田Y11-2阜一段储层至M14, M4, M19块阜三段储层(SM为0.34~0.40),鉴于这2个不同储层的油在化合物类型上的完全一致,可以推断阜三段油是由阜一段油通过杨家坝油田东侧的断层运移上来的(这里的阜二段源岩不能直接向阜三段储层供烃);类型IV分布在杨家坝油田Y10-4、墩塘油田D2阜二段储层(SM为0.37~0.38)。除第一种外,其余3种均来自龙岗次凹。分析II型、III型和IV型的差别主要与原油“来源地”不同有关,III型和IV型原油差别主要与同一层的供烃段纵向位置不同有关。由于半屏蔽二甲基咔唑提供了详细的油源“指纹”信息,所以,有关油气运移路径的描述比其它地区更细致、清楚。

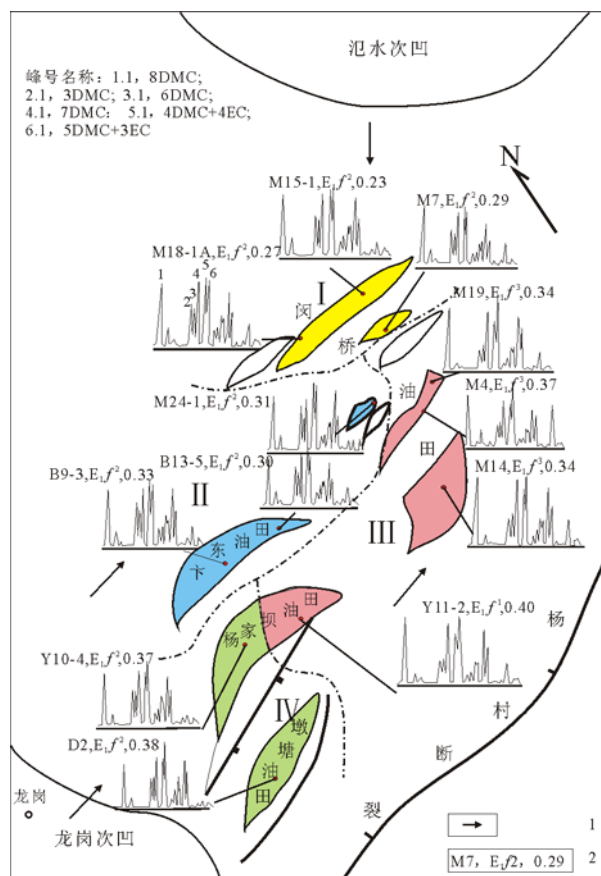


图6 苏北盆地卞闵杨地区原油二甲基咔唑分布

1. 油气运移方向;2. 井号,产层,SM

Fig. 6 Distribution of dimethyl carbazole in the crude oil in Bianminyang area, the Subei Basin

### 参考文献:

- 1 吴向阳. 苏北盆地高邮凹陷北斜坡西部油气运移研究[J]. 石油实验地质, 2005, 27(3): 281~287
- 2 李亚辉. 苏北盆地高邮凹陷构造转换带控油机制研究[J]. 石油实验地质, 2006, 28(2): 109~112
- 3 朱建辉, 徐旭辉. 苏北盆地海安凹陷曲塘—李堡地区新生代演化与油气响应评价[J]. 石油实验地质, 2005, 27(2): 138~143
- 4 陈安定. 陕甘宁盆地油气地质化特征及其在油气来源预测中的意义[J]. 石油勘探与开发, 1988, 15(6): 33~40
- 5 张水昌, 赵文智, 王飞宇等. 塔里木盆地东部地区古生界原油裂解气成藏历史分析: 以英南2气藏为例[J]. 天然气地球科学, 2004, 15(5): 441~451
- 6 张宝, 包建平. 有机含氮化合物研究新进展[J]. 天然气地球科学, 2004, 15(2): 182~286
- 7 刘洛夫, 霍红, 李超等. 利用咔唑类化合物研究油气的运移[J]. 石油实验地质, 2006, 28(4): 366~369