

文章编号:1672-9854(2009)-01-0001-15

## 中国南方海相生烃成藏研究的若干新进展(二) 南方四套区域性海相烃源岩的地球化学特征

梁狄刚<sup>1</sup>, 郭形楼<sup>2</sup>, 陈建平<sup>1</sup>, 边立曾<sup>3</sup>, 赵喆<sup>1</sup>

(1 中国石油油气地球化学重点实验室)

(2 中国石化南方勘探开发分公司; 3 南京大学地球科学系)



梁狄刚

**摘要** 南方四套区域性高、过成熟海相烃源岩的地球化学特征有:(1)干酪根显微组分以Ⅱ型为主;各层系干酪根和沥青“A”的 $\delta^{13}\text{C}$ 随时代变新而变重,反映了高等植物输入的增多。(2)上古生界烃源岩沥青“A”和总烃含量比过成熟的下古生界烃源岩高出6~10倍;与相同层系低成熟烃源岩比较,高、过成熟烃源岩已大量排烃。(3)下古生界烃源岩抽提物正烷烃的双峰型分布代表了两大类具不同脂肪链结构的藻类输入;上古生界既有双峰型又有单峰型分布,反映了水生生物与高等植物的不同贡献。(4)Pr/Ph比和甾、萜烷常规生物标志物的分布在高、过成熟热演化阶段已经趋同和失效,难以区分不同层系烃源岩和用作油源对比。(5)三芳甾烷、甲基三芳甾烷,特别是三芳甲藻甾烷等生物标志物,可以区分不同地区、不同层系烃源岩,并可用作油源对比。

**关键词** 古生代;海相地层;碳酸盐岩烃源岩;地球化学特征;生烃中心

**中图分类号**:TE112.3 **文献标识码**:A

**梁狄刚** 1938年生,教授级高级工程师。中国石油油气地球化学重点实验室学术委员会主任,中国石油天然气集团公司咨询中心专家委员会专家。通讯地址:100083 北京市海淀区学院路20号910信箱实验研究中心

我国南方古生界海相烃源岩普遍高、过成熟,二叠系及以下层位烃源岩的 $R_o$ 值普遍大于2%<sup>[1-3]</sup>,各种常规地球化学指标已经趋同<sup>[4]</sup>;干酪根的H/C原子比普遍小于0.7,热解氢指数(HI)普遍小于50 mg/g,难以区分不同层系海相烃源岩的母质类型。个别低成熟剖面,例如川北广元矿山梁二叠系和华北下花园中上元古界剖面, $R_o=0.5\% \sim 0.8\%$ ,干酪根的H/C原子比为0.8~1.2,O/C原子比为0.03~0.12,热解HI多在120~400 mg/g,属Ⅱ型母质,但这样的低熟剖面太少。

本文在246个干酪根稳定碳同位素样品、231个沥青抽提样品、192个饱和烃和芳烃色谱和色质样品分析基础上,进一步研究了南方四套区域性海相烃源岩的地球化学特征。

### 1 干酪根显微组分以Ⅱ型有机质为主

**全岩光学薄片鉴定** 据上、中、下扬子研究区120个烃源岩全岩光片鉴定结果,显微组分已呈黑色、棕黑色,有机质光学性质趋同,与“镜质体”相一致,占60%~100%,难以判别其原始性质。这是热演化程度高、干酪根腐泥组分“老化”<sup>[5]</sup>造成的假象,不能用来判定干酪根的原始类型。

**干酪根显微组分鉴定** 从图1中可以看出,下古生界海相干酪根以“腐殖无定型”为主,含量占95%以上;显微组分类型指数在40%~50%之间,属Ⅱ型有机质。寒武系干酪根的扫描电镜(图2)显示,有机质呈絮状、片状结构,清晰可见多种超微体及菌藻化石,呈微粒状、椭球状、丝状、网状、枝

收稿日期:2008-09-02

本文为“第十一届全国有机地球化学学术会议”(2007.10.20—28)大会宣讲论文的部分内容

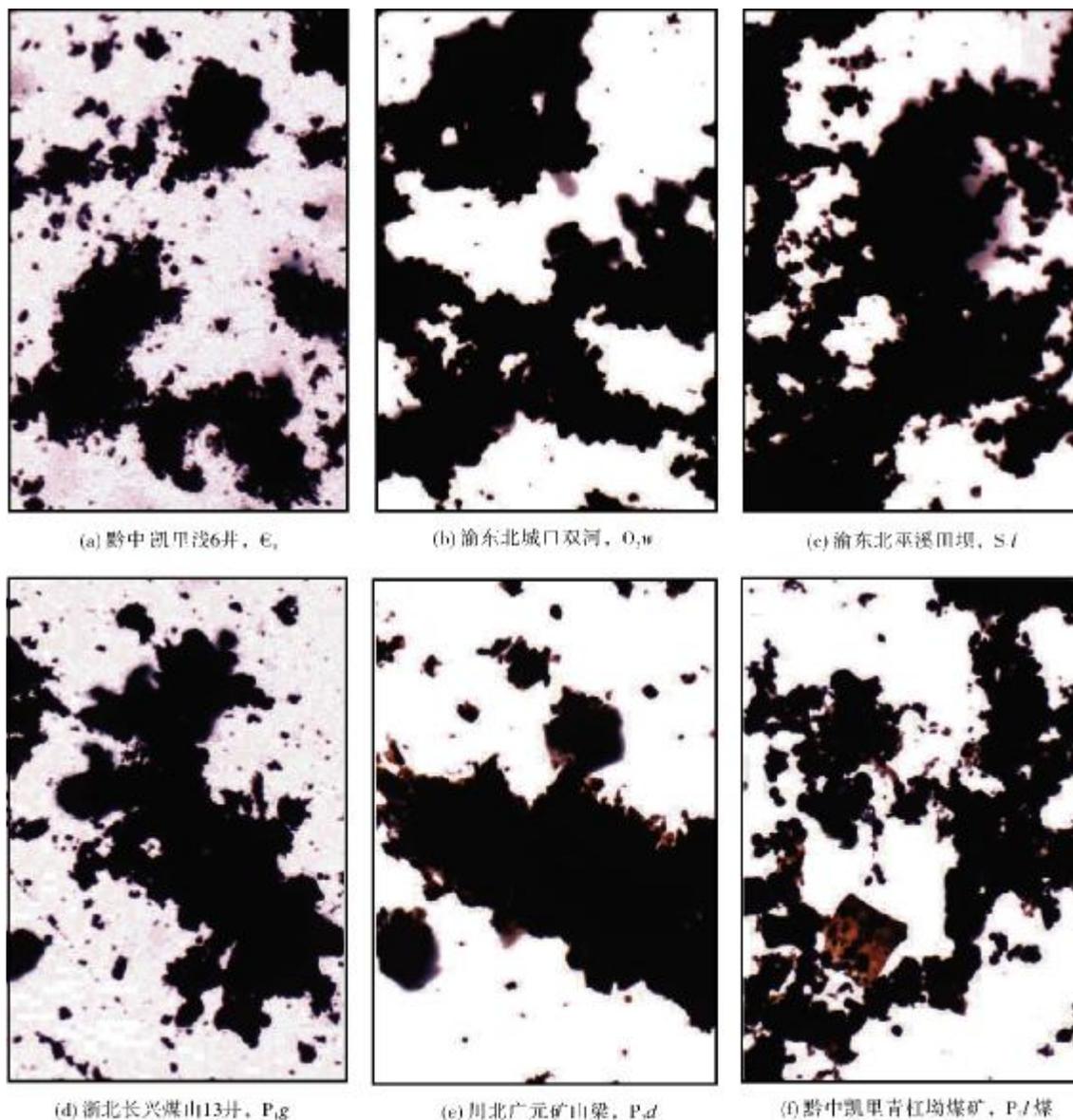


图1 南方古生界各层系海相烃源岩干酪根的显微组分

O<sub>3w</sub> 五峰组; S<sub>1l</sub> 龙马溪组; P<sub>1g</sub> 孤峰组; P<sub>2l</sub> 龙潭组; P<sub>2d</sub> 大隆组

状的单体和群体,有时可见凝胶体,属来源于低等水生生物的菌藻类腐泥成分。上古生界(二叠系)干酪根的显微组分也是以“腐殖无定型”(Ⅱ型)为主,占60%~95%(图1d和1e);这种“腐殖无定型”与下古生界不同,部分是高等植物残体“腐泥化”的结果<sup>[5]</sup>;镜质组含量略高,常见孢粉体,明显有高等植物的输入;龙潭组煤(图1f)的显微组分更是以镜质组(Ⅲ型)为主,占85%~99%,高等植物成分占主要地位。

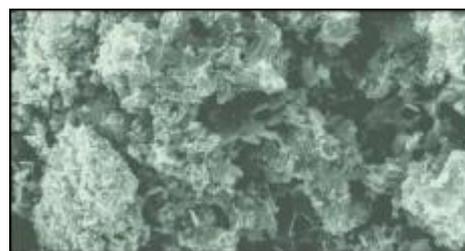


图2 南方地区下寒武统烃源岩典型干酪根  
扫描电镜,×3000



表1 上、中、下扬子研究区各层系海相烃源岩干酪根的碳同位素平均值

烃源层		$\delta^{13}\text{C}$ , 平均值(‰)		
		上扬子区	中扬子区	下扬子区
上二叠统	大隆组(P <sub>2d</sub> )	-27.2 (5)	-24.9 (1)	-24.5 (2)
	长兴组(P <sub>2ch</sub> )	-27.0 (4)	—	-27.3 (1)
	煤(P <sub>2</sub> )	-23.6 (17)	-23.3 (2)	—
	龙潭组/吴家坪组(P <sub>2l</sub> /P <sub>2w</sub> )	-25.2 (27)	-25.9 (3)	-24.2 (12)
下二叠统栖霞组、茅口组(P <sub>2q</sub> , P <sub>2m</sub> )		-27.6 (25)	-28.1 (10)	-27.2 (5)
上奥陶统五峰组—下志留统龙马溪组(O <sub>3w</sub> —S <sub>1l</sub> )		-29.4 (49)	-29.6 (6)	-29.3 (5)
下寒武统(C <sub>1</sub> )		-31.9 (31)	-31.7 (5)	-31.5 (6)
上震旦统(Z <sub>2</sub> )		-31.2 (4)	-28.6 (3)	-29.5 (1)

注:括号内数字为样品数。

岩和大隆组泥岩,母质变好, $\delta^{13}\text{C}$ 又略变轻(图3,图4)。

(3)同一烃源层系在不同(上、中、下扬子)地区,干酪根 $\delta^{13}\text{C}$ 的平均值十分一致,差值一般小于1‰(表1),说明同一层系的生物来源和母质类型总体相对均一。其微小的差异表现在:①下扬子区上二叠统P<sub>2l</sub>干酪根的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值(-24.2‰)比中、上扬子区(-25.9‰~-25.2‰)略重,高等植物成分更多;②上扬子区P<sub>2d</sub>干酪根的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值更轻(-27.2‰),属Ⅱ型,而中、下扬子区则更重(-24.9‰和-24.5‰),属Ⅲ型。

(4)古生界各层系烃源岩沥青“A”的 $\delta^{13}\text{C}$ 与干酪根的 $\delta^{13}\text{C}$ 相似,随时代变新而变重(图3),到了上二叠统长兴组灰岩和大隆组又略变轻。应当注意的是,在下寒武统和中、下扬子区的上奥陶统—下志留统中出现了 $\delta^{13}\text{C}$ 值的“倒转”现象,即干酪根的 $\delta^{13}\text{C}$ 值比沥青“A”的 $\delta^{13}\text{C}$ 值轻约2‰~3‰;到了二叠系各层系,这种“倒转”又恢复正常。显然,这种 $\delta^{13}\text{C}$ 的“倒转”现象是由下古生界烃源岩过成熟(普遍 $R_o>3\%$ )造成的,在利用干酪根/原油 $\delta^{13}\text{C}$ 进行油源分析时应当注意这一点。张爱云<sup>[7]</sup>、王大锐等<sup>[8]</sup>都曾发现国外及华南下古生界海相纯腐泥(I型)黑页岩中普遍出现这种可溶与不溶有机质 $\delta^{13}\text{C}$ 值的“倒转”现象,并且用过成熟阶段干酪根芳香稠核中富集<sup>12</sup>C来解释。从图3中可以看出,华北下花园中—上元古界(Pt<sub>1-2</sub>)海相黑页岩的时代虽比早古生代更老,但成熟度低( $R_o$ 只有0.5%~0.7%),这时 $\delta^{13}\text{C}$ 的“倒转”却并未发生(图3),充分说明“倒转”现象受过成熟的控制。

### 3 上、下古生界烃源岩抽提物和芳烃含量相差很大

(1)上、中、下扬子研究区117个下古生界海相烃源岩的氯仿沥青“A”含量极低,一般小于0.01%,平均为0.0040%,总烃含量更低,平均只有0.0019%,这显然是下古生界烃源岩过成熟的结果。而成熟度相对低些的88个上古生界(二叠系)烃源岩(煤和几个低熟烃源岩除外),沥青“A”和总烃含量平均值分别为0.0283%和0.0205%,相当于下古生界烃源岩的7~11倍,反映出成熟度对可溶有机质含量的控制作用。

(2)同一层系比较,川北广元矿山梁大隆组低熟烃源岩( $R_o=0.7\%~0.8\%$ )的沥青“A”含量高达0.3599%,总烃含量达0.0886%;而其他地区高成熟大隆组烃源岩( $R_o>1.3\%$ )沥青“A”含量只有0.020%~0.095%,总烃含量只有0.001%~0.045%,反映出随成熟度增高,生成的烃类已大量排出烃源岩体。煤的情况与此相似,矿山梁、黔中凯里上二叠统低熟煤的沥青“A”含量高达2%~5%,而绝大多数高过成熟上二叠统煤的沥青“A”含量多小于0.1%,相差20~50倍。

(3)震旦系6个烃源岩抽提物的芳烃组分小于8%;下古生界117个海相烃源岩的芳烃组分小于50%,绝大多数(占86.5%)样品小于20%。与此相反,上古生界92个烃源岩的芳烃组分可高达80%,其中2/3的样品芳烃组分大于20%。可见,随时代变新,生物先质中具芳香结构的高等植物输入越来越多。

#### 4 上、下古生界烃源岩抽提物正烷烃的分布不同

(1) 下古生界烃源岩抽提物的正烷烃分布以双峰型为主(图 5), 上、中、下扬子区变化不大, 一般后

峰( $>nC_{20}$ )高于前峰( $<nC_{20}$ ), 这与高、过成熟阶段向低碳数演化的趋势相反, 与成熟度无关, 而是代表两种生源输入。早古生代不存在陆源高等植物, 正烷烃的两个峰群分别代表两类具有高、低不同碳数脂肪链结构的藻类输入。

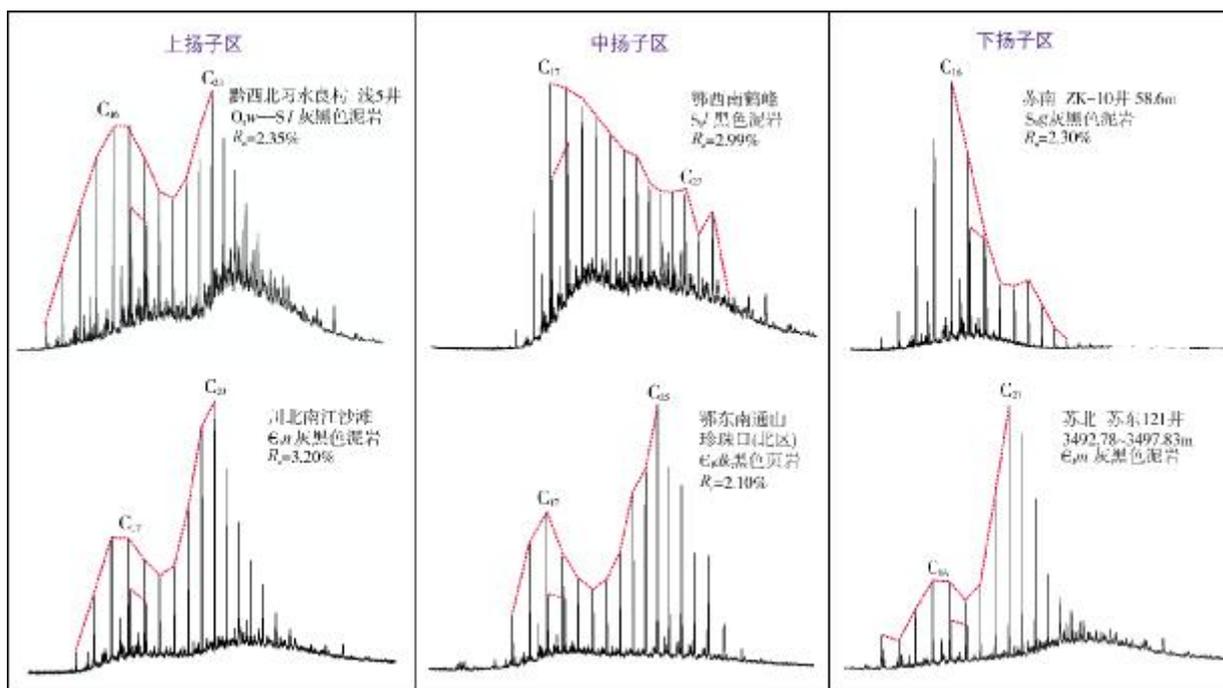


图 5 上、中、下扬子研究区下古生界海相烃源岩抽提物的典型饱和和烃谱分布图

$C_{1,dk}$  东坑组;  $C_{1,n}$  牛蹄塘组;  $C_{1,m}$  幕府山组;  $O_{3,w}$  五峰组;  $S_{1,l}$  龙马溪组;  $S_{1,g}$  高家边组

(2) 中、下扬子区上奥陶统一志留统烃源岩略有不同, 基本上以低碳数前峰群为主, 表明藻类的种属与寒武纪比较有较大变化。

(3) 上古生界烃源岩的正烷烃分布要更为复杂, 单峰型和双峰型都有大量分布, 双峰型的前、后峰群有高有低(图 6)。从低、中成熟烃源岩(例如如图 6 川北广元矿山梁  $P_{2d}$  泥岩, 苏北  $N_9$  井  $P_{2l}$  泥岩)的双峰型分布来看, 前、后峰群应分别代表水生生物与高等植物的输入。以低碳数为主峰群的单峰型分布, 虽不能完全排除高、过成熟的影响, 但在低、中成熟烃源岩中也有这种分布(例如如图 6 鄂北京山雁门口  $P_{1q}$  灰岩,  $R_0=1\%\pm$ ), 主要反映水生生物的贡献; 而以高碳数为主峰群的单峰型分布, 也出现在高、过成熟烃源岩中(例如如图 6 渝东北城口双河  $P_{2w}$  煤,  $R_0=1.95\%$ ), 显然代表高等植

物的输入。

#### 5 各层系高过成熟烃源岩 Pr/Ph 值相当一致

南方地区各套海相烃源层系的 Pr/Ph 值绝大多数分布在 0.8~1.5 之间, 相当一致, 同一层系样品之间的差异大于不同层系样品之间的差异(图 7), 这是烃源岩高、过成熟导致的 Pr/Ph 值趋同现象, 因此已经不能用它来作为母质来源、沉积环境和油源对比指标<sup>[9]</sup>, 用它也区分不开不同层系烃源岩。图 7 中二叠系  $P_{1q}$ 、 $P_{2w}$ / $P_{2l}$  有部分样品的 Pr/Ph 值相对较高, 达 1.5~2.5, 少数几个低中成熟煤样的 Pr/Ph 值更高达 3~3.6, 似可反映这部分二叠系烃源岩比下古生界烃源岩环境相对氧化, 高等植物的掺入更多。

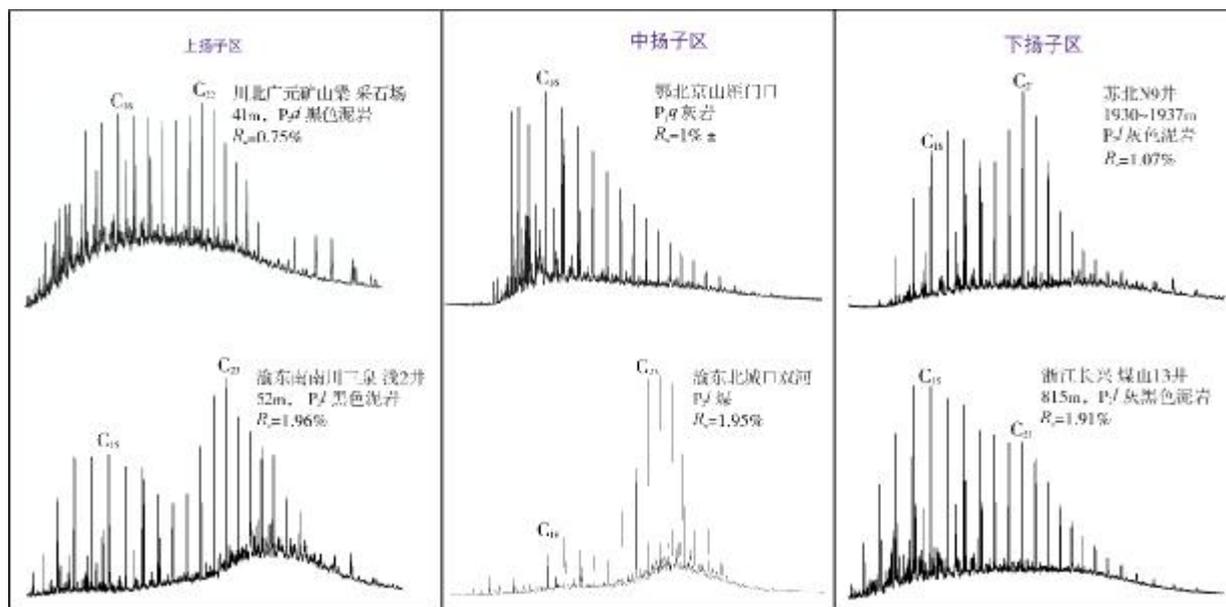


图6 上、中、下扬子研究区上古生界(二叠系)海相烃源岩抽提物的典型饱和和烷烃谱分布图  
P<sub>2</sub>w 吴家坪组; P<sub>1</sub>q 栖霞组; P<sub>2</sub>l 龙潭组; P<sub>2</sub>d 大隆组

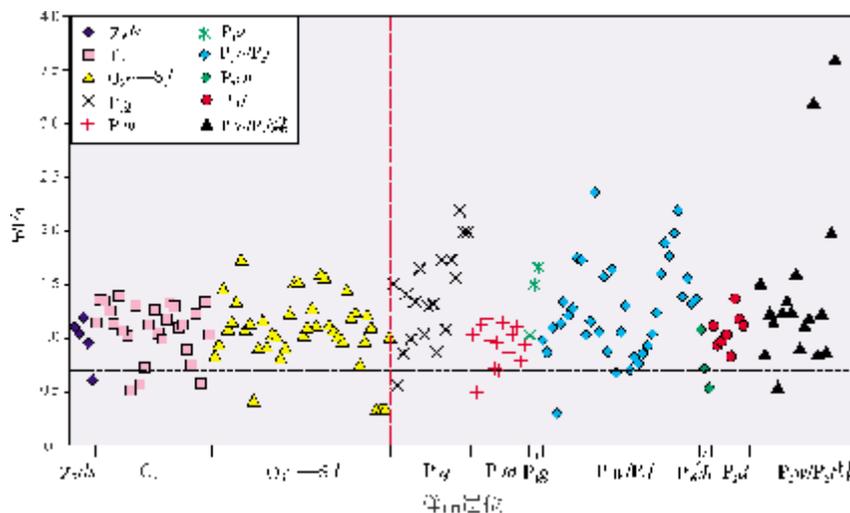


图7 南方研究区震旦系和古生界各层系烃源岩抽提物 Pr/Ph 值分布图  
P<sub>2</sub>ds 陡山沱组; O<sub>3</sub>w 五峰组; S<sub>1</sub>l 龙马溪组; P<sub>1</sub>g 孤峰组; P<sub>2</sub>w 吴家坪组;  
P<sub>2</sub>l 龙潭组; P<sub>1</sub>m 茅口组; P<sub>1</sub>q 栖霞组; P<sub>2</sub>d 大隆组

## 6 各层系海相烃源岩的甾、萜烷常规生物标志物已经趋同

(1)上扬子研究区从震旦系、下寒武统到上二叠统,各层系高、过成熟烃源岩的甾、萜烷图谱(图8)都极其相似,难以区分,甚至连黔西北习水良村 P<sub>2</sub>l 煤的甾萜分布与其他层系泥岩、石灰岩烃源岩的图

谱特征也相同: C<sub>27</sub> 甾烷最高,其次是 C<sub>29</sub> 甾烷, C<sub>28</sub> 甾烷最低; 三环萜以 C<sub>23</sub> 为主峰, C<sub>24</sub> 四环萜很低, Ts 与 Tm 相当; 含较高的伽马蜡烷等。这都完全反映出煤的高等植物输入和酸性氧化环境。这也是高、过成熟阶段甾萜烷生物标志物趋同的结果。

(2)生物标志物趋同导致在图9、图10中不同层系烃源岩的甾萜生物标志物参数互相重叠覆盖,

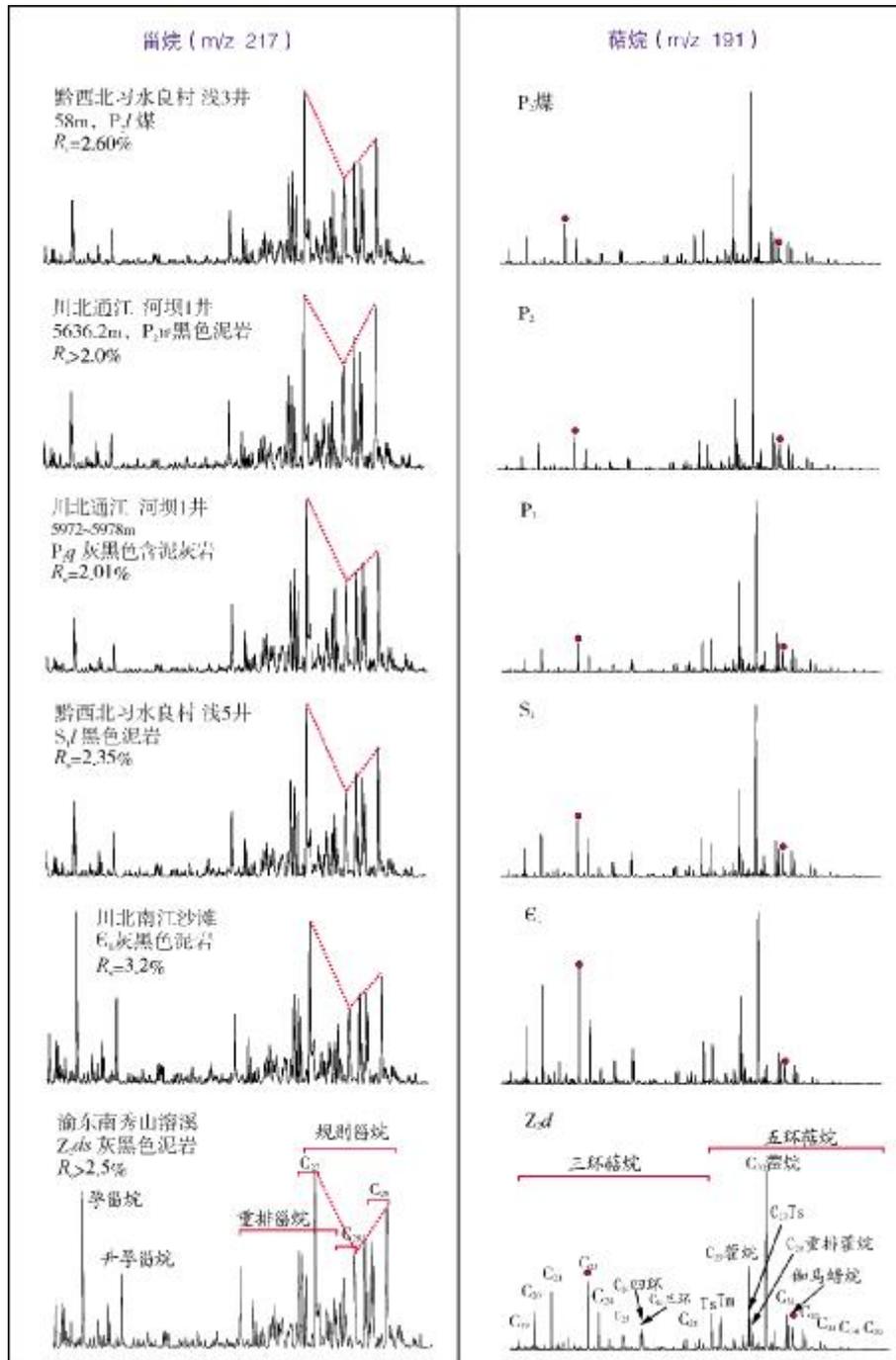


图8 上扬子区震旦系、古生界各层系高、过成熟海相烃源岩甾烷、萜烷质量色谱图  
Z<sub>2</sub>ds 陡山沱组; S<sub>1</sub>l 龙马溪组; P<sub>1</sub>q 栖霞组; P<sub>2</sub>w 吴家坪组; P<sub>2</sub>l 龙潭组

交叉分布,特别是同一层系样品之间甾萜烷参数的差异甚至大于不同层系样品之间的差异。这些参数已经不能用来区分不同层系烃源岩的有机质特征,也不能用于油源对比。

(3)低、中成熟海相烃源岩则不同,其甾、萜烷分布特征能够充分反映有机质的原始面貌(图11)。例如,低成熟的黔中凯里万潮 P<sub>2</sub>l煤和泥岩 (R<sub>0</sub>=0.68%),三种甾烷以 C<sub>27</sub> 甾烷占优势;三环萜以低碳

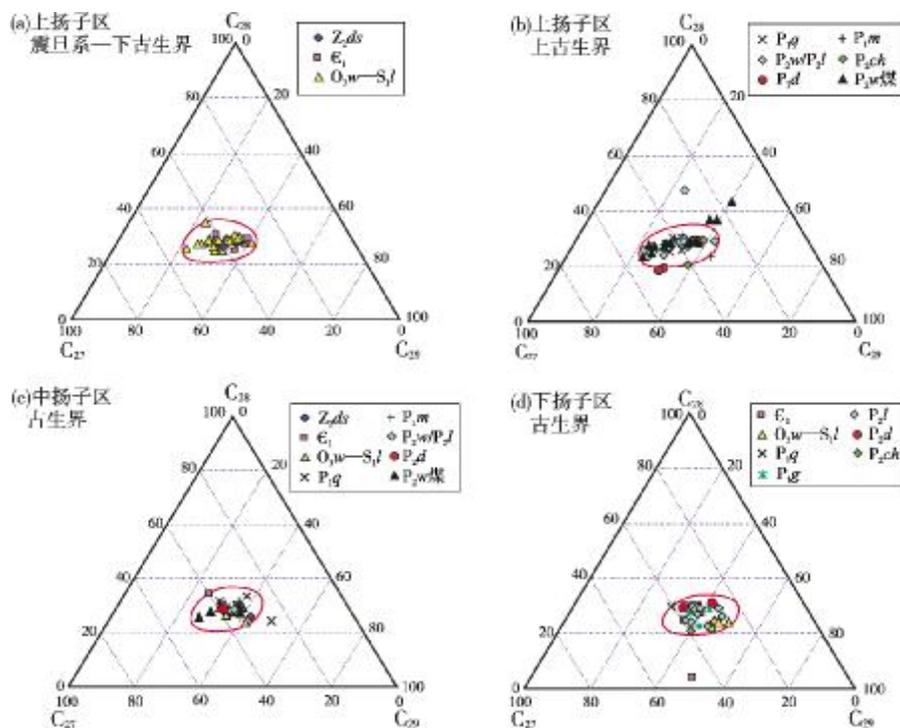


图9 上、中、下扬子研究区古生界各层系高、过成熟海相烃源岩抽提物中三种  $\alpha\alpha\alpha$ -20R 甾烷的相对组成三角图  
 图示不同层位样品点相互重叠,分布在相近的不大范围内,同一层系样品点的差异远大于不同层系样品点之间的差异。

P<sub>1m</sub> 茅口组; P<sub>1q</sub> 栖霞组; P<sub>2w</sub> 吴家坪组; P<sub>2l</sub> 龙潭组; P<sub>2d</sub> 大隆组

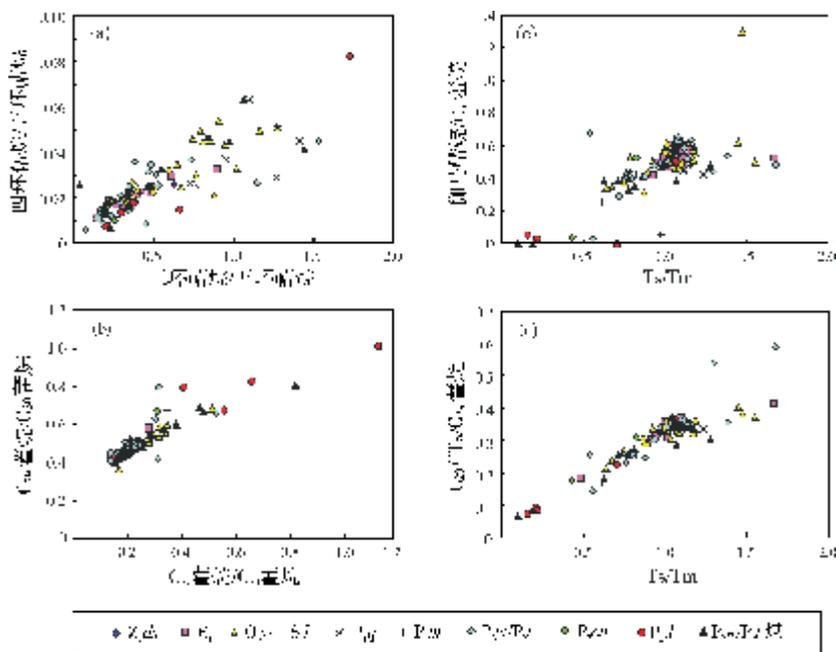


图10 上扬子研究区古生界各层系高、过成熟烃源岩的甾烷类生物标志物参数关系图

图示同一层系样品点的差异远大于不同层系样品点之间的差异。

Z<sub>ds</sub> 陡山沱组; O<sub>3w</sub> 五峰组; S<sub>1l</sub> 龙马溪组; P<sub>1m</sub> 茅口组; P<sub>1q</sub> 栖霞组;  
 P<sub>2w</sub> 吴家坪组; P<sub>2ch</sub> 长兴组; P<sub>2l</sub> 龙潭组; P<sub>2d</sub> 大隆组



发现了大量三芳甲藻甾烷,并且认为它们与古生代海相疑源类(可能与沟鞭藻有遗传关系的浮游藻胞囊)的富集有关。张水昌等<sup>[11-12]</sup>在塔里木盆地寒武系烃源岩及原油中也发现了丰富的甲藻甾烷和三芳甲藻甾烷,并认为它们与疑源类胞囊或球状甲藻有关<sup>[13]</sup>。梁狄刚等<sup>[4]</sup>随后在南方海相油源对比时进一步发现,三芳甾烷和甲基三芳甾烷、三芳甲藻甾烷的分布不受成熟度高低控制,能够区分不同层系、不同岩性、不同生源特征的海相烃源岩,并可作为油

源指标。

从图12中可以看出,无论是甲藻甾烷(图12a)还是三芳甾烷、三芳甲藻甾烷(图12b),在相同层位、成熟度相当的情况下,有的很丰富,有的基本不含;不论是中等成熟(图12a)还是高成熟(图12b),这些化合物该富则富,该贫则贫,并未如前述的Pr/Ph值和甾、萜烷常规生物标志物那样在高、过成熟阶段出现趋同现象,这就为区分不同层系、不同地区的高、过成熟烃源岩提供了很有希望的指标。

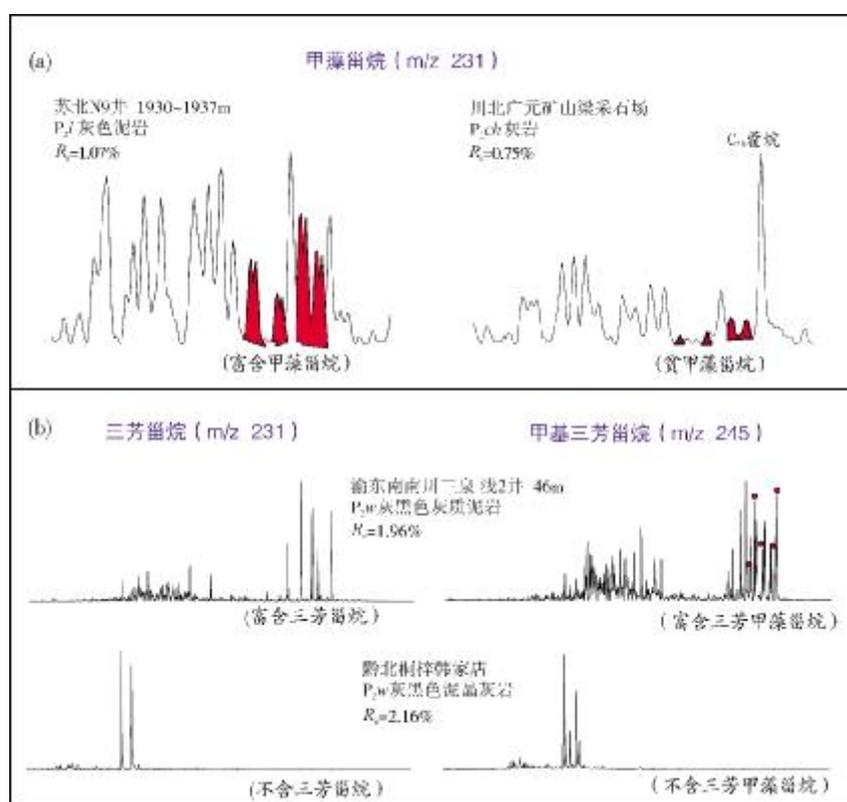


图12 成熟度相近的两对上二叠统烃源岩(a)甲藻甾烷(红色峰)与(b)三芳甾烷、甲基三芳甾烷和三芳甲藻甾烷(标有红点的7号峰)发育的比较  
P<sub>2</sub>l 龙潭组; P<sub>2</sub>ch 长兴组; P<sub>2</sub>w 吴家坪组

研究表明,上、中、下扬子研究区从震旦系到上二叠统不同层系海相高、过成熟烃源岩,不论是泥岩、碳酸盐岩和煤,普遍含有甲藻甾烷(即4、23、24-三甲基甾烷,图12a中的红色峰),其丰度和分布基本相似,难以用他们来区分不同层系、不同地区的烃源岩。

三芳甾烷和三芳甲藻甾烷则不同,在不同层系、不同地区的分布有较大差异。

## 7.1 下寒武统烃源岩

上、中、下扬子研究区的下寒武统烃源岩普遍含有三芳甾烷、3-甲基或4-甲基三芳甾烷以及三芳甲藻甾烷(即4、23、24-三甲基三芳甲藻甾烷C<sub>29</sub>,图13),但其丰度在不同地区有较大差异。上扬子区北部的川北南江沙滩(C<sub>1</sub>q),黔北金沙岩孔、遵义松林,黔东北松桃盘石,渝东南秀山溶溪(C<sub>1</sub>n),向东延伸

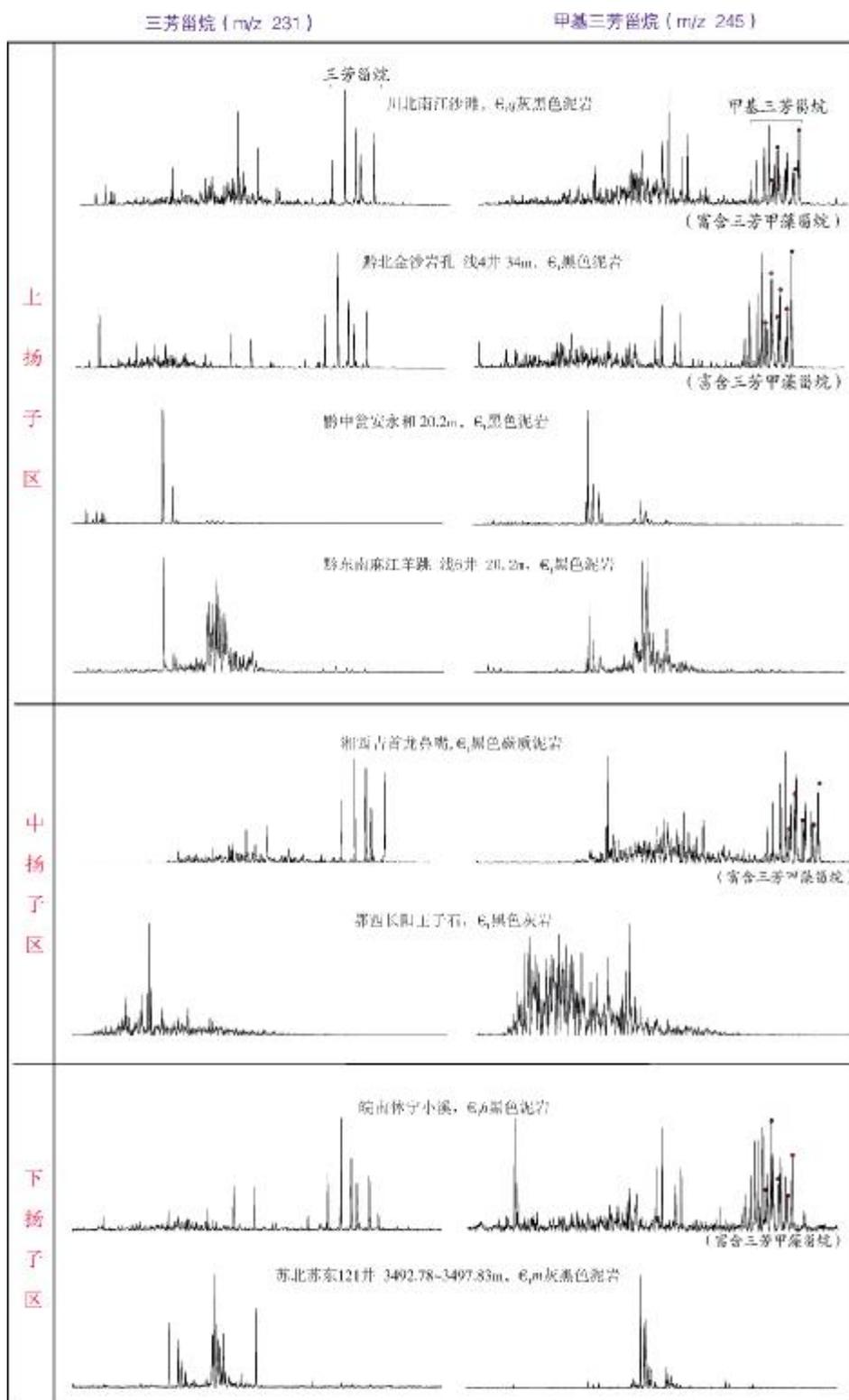


图 13 下寒武统部分海相烃源岩三芳甾烷、甲基三芳甾烷及三芳甲藻甾烷质量色谱图

图中红点标出的峰是三芳甲藻甾烷,即 4,23,24-三甲基三芳甲藻甾烷 C<sub>29</sub>E<sub>2</sub> 荷塘组; E<sub>2</sub>m 幕府山组; E<sub>2</sub>q 清虚洞组

到中扬子湘西吉首、鄂北宜昌晓峰( $C_{1sh}$ )等剖面上,这类化合物十分丰富,与下寒武统生烃中心区大体一致,而在南部黔东南麻江羊跳、黔中瓮安永和、凯里台江( $C_{1n}$ )、黔南三都( $C_{1z}$ )等剖面上却较贫乏(图14)。在中扬子区鄂西长阳王子石( $C_{1sh}$ )及东部通山珍珠口、留咀桥( $C_{1dk}$ )等剖面上基本不含这类化合物。在下扬子区,南部的浙西皖南生烃中心( $C_{1h}$ )富含这类化合物,而在北部苏北地区( $C_{1m}$ )则较贫乏。这种分布表明,不同地区下寒武统烃源岩的生物来源不尽相同。

下寒武统富含三芳甾烷、甲基三芳甾烷的剖面,三芳甲藻甾烷也很丰富(图13),表明其生物先质与沟鞭藻、甲藻等浮游藻类密切相关。

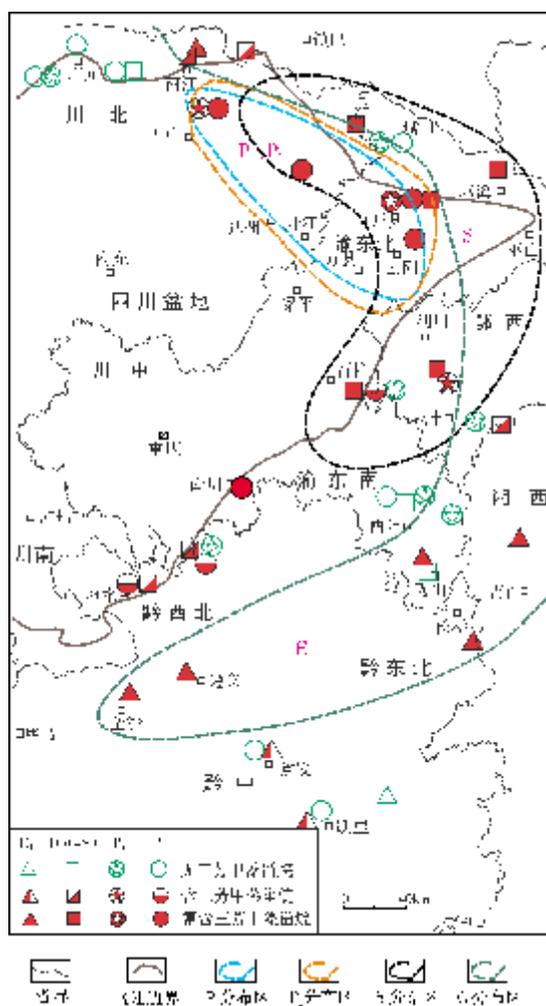


图14 上扬子研究区古生界海相烃源岩中三芳甲藻甾烷的分布区域图

$O_{3w}$  五峰组;  $S_{1l}$  龙马溪组

## 7.2 上奥陶统一下志留统烃源岩

上扬子研究区富含三芳甾烷、甲基三芳甾烷和三芳甲藻甾烷的上奥陶统一下志留统烃源岩,集中分布在渝东北城口双河、巫溪田坝和徐家坝、石柱漆辽、鄂西利川毛坝一带的下志留统生烃中心区附近(图14,图15);由此向西至川北南江桥亭、川东北旺苍双汇剖面,向南至渝东南来凤、酉阳、綦江观音桥、黔西北习水良村剖面,则逐渐贫含或不含这类化合物。中、下扬子区上奥陶统一下志留统烃源岩或者不含,或者这类化合物较低(图15)。

## 7.3 上、下二叠统烃源岩

在上扬子研究区,上、下二叠统泥岩及灰岩烃源岩只局限在川北南江(河坝1井)—普光(毛坝2井)—云阳—巫溪田坝一带的二叠系生烃中心富含三芳甾烷、甲基三芳甾烷,同时富含三芳甲藻甾烷(图14,图16);由此向北到城口,向西到旺苍,向南到利川、石柱、咸丰、酉阳,二叠系烃源岩贫含或不含这类化合物。渝东南南川三泉  $P_2l$  泥岩富含三芳甾烷、三芳甲藻甾烷,但更向南到黔西北桐梓、习水、黔中瓮安、凯里一带,  $P_2l$  泥岩、特别是  $P_2l$  煤和碳质泥岩都不含或贫含这类化合物。

还有一种情况:川北广元矿山梁剖面的上、下二叠统各层系都含有一定量三芳甾烷,3-甲基或4-甲基三芳甾烷,但却都不含三芳甲藻甾烷(图16b);这种情况也见于下扬子区某些上二叠统剖面(图16a 浙北长兴煤山13井  $P_2l$  泥岩),表明这些地区甲藻甾烷的先驱生物沟鞭藻、甲藻类浮游藻不发育。

中、下扬子区上、下二叠统烃源岩基本不含或贫含三芳甾烷、特别是三芳甲藻甾烷。

综上所述可知:①研究区从老到新,从下寒武统、上奥陶统一下志留统到上、下二叠统,烃源岩中的三芳甾烷、甲基三芳甾烷、特别是三芳甲藻甾烷的丰度和分布范围有减小趋势;②同一层系在不同地区,这类化合物的丰度有较大差异;③各层系的生烃中心或其附近富含这类化合物,远离中心则丰度减小,可见这类化合物的先驱生物沟鞭藻、甲藻类浮游藻对生烃有重要贡献,可以用来指示油源区的位置;④可以利用这类特殊生物标志物区分不同层系、不同地区的烃源岩,在进行油岩对比时,应当分区并尽可能靠近生烃中心选取烃源岩样。

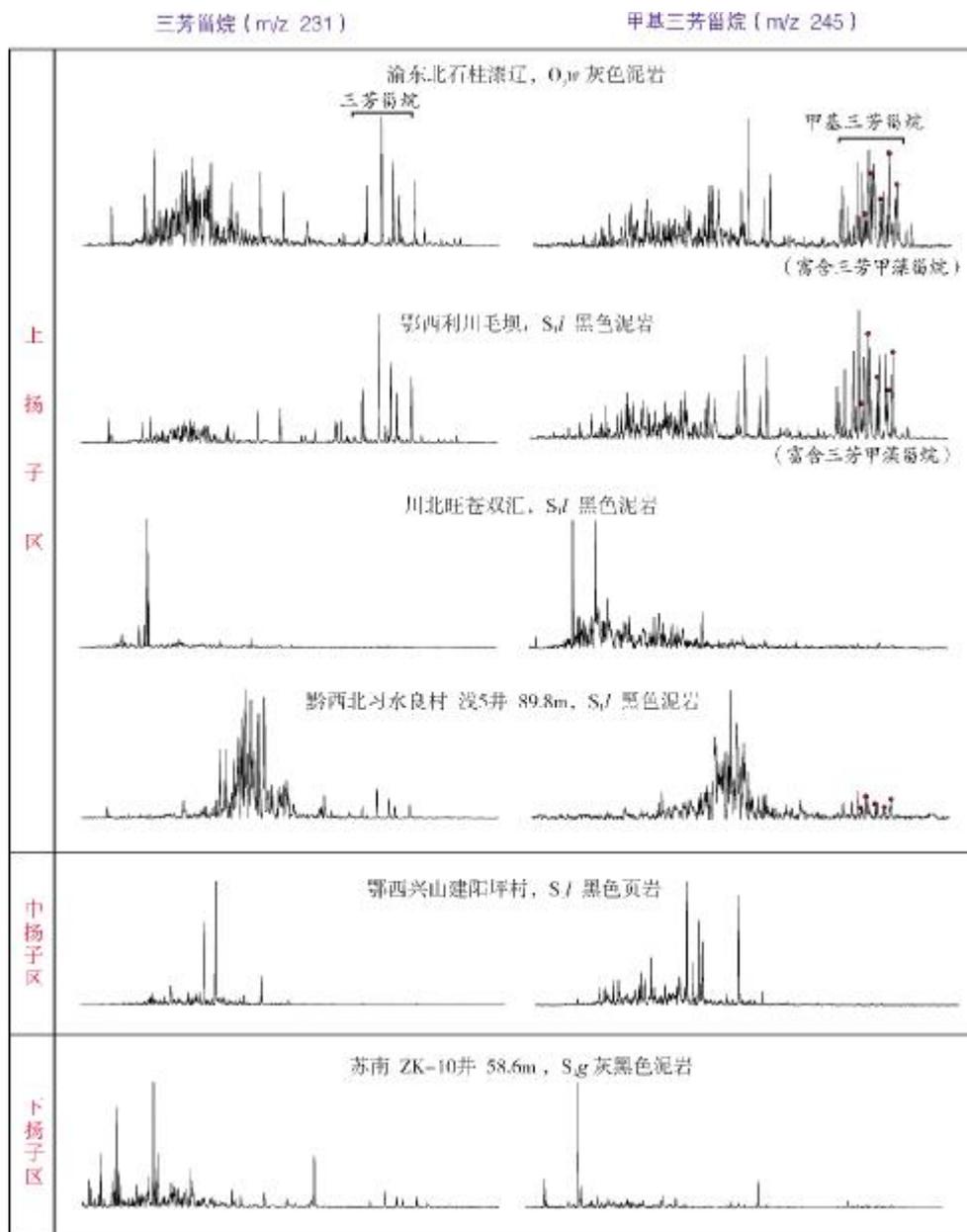


图 15 上奥陶统一下志留统部分海相烃源岩三芳甾烷、甲基三芳甾烷及三芳甲藻甾烷质量色谱图

图中红点标出的峰是三芳甲藻甾烷  $C_{29}$  $S_{1l}$  龙马溪组;  $S_{1g}$  高家边组;  $O_{3w}$  五峰组

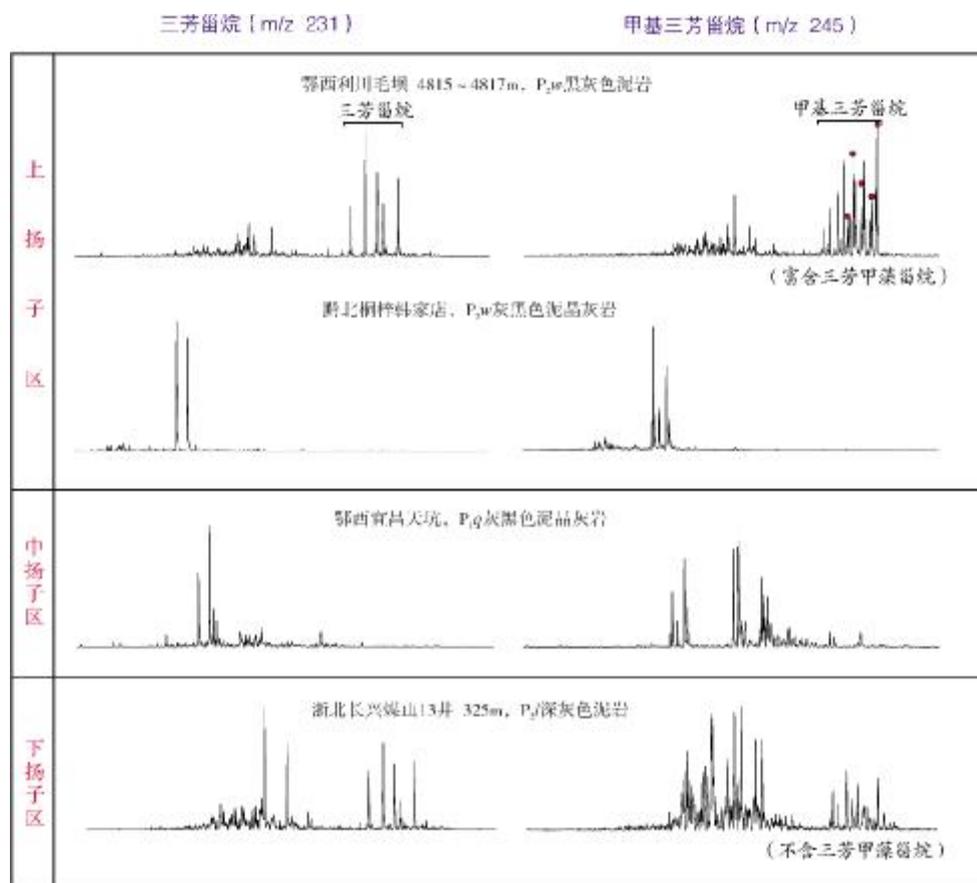
## 8 结 论

南方上、中、下扬子研究区四套区域性高、过成熟海相烃源岩具有以下地球化学特征:

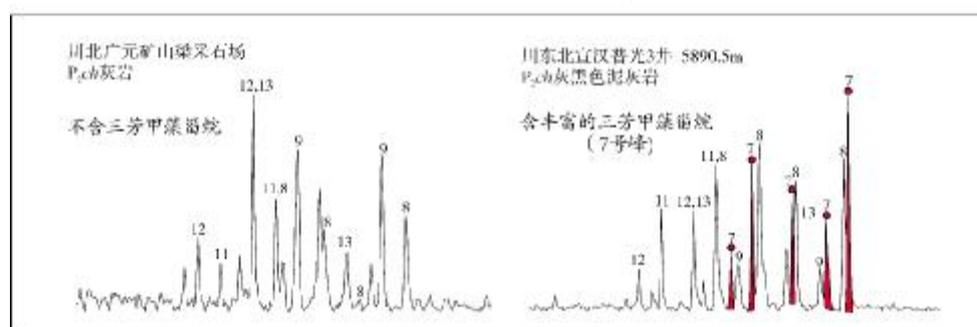
(1) 干酪根和沥青“**A**”的值随时代变新而变重, 以上二叠统龙潭组的为最重, 反映高等植物输入的

增多。过成熟的下寒武统及部分下志留统烃源岩出现沥青“**A**”与干酪根  $\delta^{13}C$  值“倒转”现象。

(2) 下古生界烃源岩沥青“**A**”和总烃含量极低, 上古生界(二叠系)较高, 相差 6~10 倍, 芳烃组分也高。与同一层系低成熟烃源岩比较, 高、过成熟烃源岩生成的烃类已大量排出。



(a) 二叠系部分海相烃源岩三芳甾烷、甲基三芳甾烷及三芳甲藻甾烷质量色谱对比  
红点标出的峰是三芳甲藻甾烷 $C_{30}$



(b) 相同层位(长兴组)烃源岩富含与不含三芳甲藻甾烷的两种质量色谱对比  
图中用红点标出的红色7号峰是三芳甲藻甾烷 $C_{30}$ , 本图是图13、图15和图16右图的放大

图 16 海相烃源岩不同类型甾烷质量色谱对比图  
 $P_{1q}$  栖霞组;  $P_{2w}$  吴家坪组;  $P_{2ch}$  长兴组;  $P_{2l}$  龙潭组

(3) 下古生界烃源岩正构烷烃的分布呈双峰型, 前、后峰群分别代表具高、低不同碳数脂肪链结构的藻类输入; 上古生界单、双峰型都有, 分别代表水生生物和高等植物的输入。

(4)  $Pr/Ph$  值和甾、萜烷常规生物标志物的分布已

经趋同, 同一层系样品之间的差异远大于不同层系的差异, 难以区分不同层系烃源岩, 也难以用于油源对比。

(5) 三芳甾烷、甲基三芳甾烷、特别是三芳甲藻甾烷等特殊生物标志物, 在不同层系、不同地区的分

布有明显差异、可以指示油源区并用于高、过成熟油源对比。

#### 参考文献

- [1] 梁狄刚,郭彤楼,陈建平,等. 中国南方海相生烃成藏研究的若干新进展(一);南方四套区域性海相烃源岩的分布[J]. 海相油气地质,2008,(13)2:1-16.
- [2] 翟光明. 中国石油地质志:卷十 四川油气区[M]. 北京:石油工业出版社,1989:142.
- [3] 翟光明. 中国石油地质志:卷十一 滇黔桂油气区[M]. 北京:石油工业出版社,1992:139,141-142.
- [4] 梁狄刚,陈建平. 中国南方高过成熟区海相烃源岩的油源对比问题[J]. 石油勘探与开发,2005,32(2):8-14.
- [5] 梁狄刚,曾宪章,王雪平,等. 冀中坳陷油气的生成[M]. 北京:石油工业出版社,2001:131.
- [6] 胡见义,黄第藩,等. 中国陆相石油地质理论基础[M]. 北京:石油工业出版社,1991:189.
- [7] 张爱云,伍大茂,郭丽娜,等. 海相黑色页岩建造地球化学与成矿意义[M]. 北京:科学出版社,1987.
- [8] 王大锐. 油气稳定同位素地球化学[M]. 北京:石油工业出版社,2000:171-173.
- [9] 彼得斯 K E,莫尔多万 J M. 生物标志化合物指南——古代沉积物与石油中分子化石的解释[M]. 北京:石油工业出版社,1995:106.
- [10] Moldowan J M, Dahl J, Jacobson S R, et al. Chemostratigraphic reconstruction of biofacies: Molecular evidence linking cyst-forming dinoflagellates with pre-Triassic ancestors [J]. *Geology*, 1996, 24(2): 159-162.
- [11] 张水昌, Moldowan J M, Li M, 等. 分子化石在寒武纪、前寒武纪地层中的异常分布及其生物学意义[J]. 中国科学: D 辑 地球化学, 2001, 31(4): 299-304.
- [12] 张水昌,梁狄刚,张宝民,等. 塔里木盆地海相油气的生成[M].北京:石油工业出版社,2004:218-223.
- [13] 边立增,张水昌,张宝民,等. 似球状沟鞭藻化石重新解释早中寒武世甲藻甾烷的来源.[J]. 科学通报,2000,45(2): 2551-2558.

编辑:赵国宪

#### Some Progresses on Studies of Hydrocarbon Generation and Accumulation in Marine Sedimentary Regions, Southern China (Part 2):

### Geochemical Characteristics of Four Suits of Regional Marine Source Rocks, South China

Liang Digang, Guo Tonglou, Chen Jianping, Bian Lizeng, Zhao Zhe

**Abstract:** The geochemical characteristics of the 4 sets of regional high-over mature marine source rocks are as follows: (1) The kerogen maceral is mainly Type II, also there are some Types I and III and the  $\delta^{13}\text{C}$  of kerogen and the extracted bitumen "A" get heavier as the geological time gets younger, which reflects the increasing of the higher plant inputting. (2) The content values of extracted bitumen "A" and total hydrocarbon in Upper Paleozoic source rocks is 6-10 times of those in the over mature Lower Paleozoic source rocks. Compared with the low mature source rocks in the identical strata, a large amount of hydrocarbon has already been expelled out from the high-over mature source rocks. (3) The bimodal n-alkane distribution of the extract from the Lower paleozoic source rocks represents the input of two different kinds of aliphatic chain algae, and the existence of both bimodal and unimodal distributions of the extract from the Upper Paleozoic source rocks reflects the different contributions of aquatic organism and higher plant. (4) The Pr/Ph ratios and the routine biomarkers of steroid and terpane are so convergent in distribution as to lose effectiveness, which results in difficulty to differentiate from the source rocks in the different formations that are used to oil-source correlation. (5) The special biomarkers, such as triaromatic steroid and methyl triaromatic steroid, and especially triaromatic dinoflagellate sterane, can be used to distinguish the source rocks in different regions and different formations so that they can be used to oil-source correlation. The distribution of these compounds is reduced from Cambrian to Permian and the concentrating areas of these compounds basically accord with the generating centers of the different formations, so they can be used to locate the positions of hydrocarbon source areas.

**Key words:** Paleozoic; Marine facies formation; Carbonate source rocks; Geochemical characteristics; Generating center

**Liang Digang:** male, Prof., Chief of the Academic Committee of Key Lab of Petroleum Geochemistry, PetroChina and Consultant of the Expert Committee of the Consulting Center, CNPC. Add: Experiment & Research Center, P.O.Box 910, 20, Xueyuan Rd, Beijing, 100083 China