

文章编号: 1001 - 6112 (2005) 05 - 0490 - 06

中上扬子北缘中生界海相烃源岩特征

刘光祥

(中国石化石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151)

摘要: 中上扬子北缘中生界海相层系有机地球化学剖面的研究表明, 中生界海相层系烃源岩主要发育于下寒武统、上奥陶统五峰—下志留统龙马溪组底部和二叠系。其中中生界烃源岩以泥质岩为主, 有机质丰度高, 有机质类型好, 多属好—最好的烃源岩; 上古生界 (P) 烃源岩以碳酸盐岩为主, 泥质岩为辅, 前者有机碳一般 $< 1\%$, 多属较好的烃源岩, 后者有机质丰度高, 多属好—最好的烃源岩; 二叠系碳酸盐岩和泥质烃源岩有机质类型复杂多样, 以 I_1 型为主。3 套烃源岩热演化程度普遍较高, 等效镜质体反射率 R_o 一般 $> 2.0\%$, 区内油气结构以天然气为主。烃源岩可溶有机质有机地球化学特征研究表明, 下古生界烃源岩正构烷烃呈单峰型, 而二叠系烃源岩正构烷烃有 3 种类型。在甾、萜烷生物标志化合物方面, 二叠系烃源岩以较低的 C_{21} 三环萜烷 / C_{23} 三环萜烷、 C_{27} 规则甾烷 / C_{28+29} 规则甾烷等为显著特征而区别于下寒武统烃源岩, 五峰组—龙马溪组烃源岩则介于其间。

关键词: 有机质丰度; 有机质类型; 演化程度; 生物标志化合物; 海相烃源岩; 中上扬子区

中图分类号: TE122. 1

文献标识码: A

1 盆地构造演化概述

研究区位于秦岭—大别造山带南侧, 中上扬子区北缘 (图 1)。受秦岭—大别洋转化着的地球动力学控制, 在震旦纪至中三叠世期间, 该区经历了 4 期不同类型盆地的并列与叠加, 分别是: 1) 震

旦纪至中奥陶世, 受秦岭—大别洋扩张作用控制, 区内发育被动大陆边缘与克拉通周边拗陷; 2) 晚奥陶世至志留纪, 在华南加里东造山带的挤压及北秦岭洋持续扩张的南挤北张构造环境下, 扬子北缘叠加了克拉通内拗陷盆地; 3) 志留纪末, 随着北秦岭洋向华北板块俯冲消减, 南秦岭结束被动边缘发育历史, 在北秦岭褶皱带和扬子克拉通之间发育

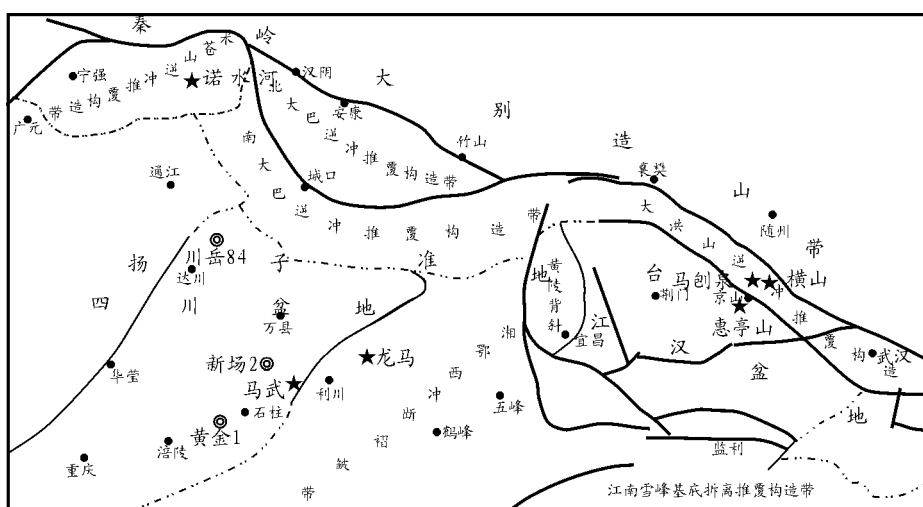


图 1 研究区大地构造位置及主要剖面点位置图

Fig. 1 Map showing the locations of the tectonics and the main profiles in the study area

收稿日期: 2005 - 05 - 12; 修订日期: 2005 - 07 - 29。

作者简介: 刘光祥 (1969 -), 男 (土家族), 重庆石柱人, 高级工程师, 主要从事油气地质勘探和有机地球化学的研究工作。

基金项目: 中国石化科技攻关项目 (P02071)。

前陆盆地，而在扬子北部整体隆起背景下形成局部拗陷 (D—C)；4) 二叠纪至中三叠世，受古特提斯洋扩张的影响，研究区再次处于伸展构造环境，发育陆内裂隙与拗陷盆地。^[1] 中三叠世末的印支构造运动结束了研究区海相沉积史，代之为中生代前陆盆地河、湖、沼泽相沉积，局部地区在白垩纪至第三纪叠加了断—拗盐湖沉积体系。

2 中生界海相层系烃源岩基本特征

2.1 有机质丰度垂向分布特征与烃源岩层系

表征烃源岩有机质丰度的参数有有机碳、氯仿沥青“A”、总烃含量等。由于研究区有机质演化程度普遍较高，氯仿沥青“A”及总烃含量一般较低，失去其原有的地球化学意义，目前主要用残余有机碳表征高过成熟烃源岩有机质丰度^[2]。对于泥质烃源岩，各研究单位和学者采用的有机质丰度 (TOC) 下限值趋于一致；但对于碳酸盐岩烃源岩仍存在较大争议，有机质丰度下限值从 0.05% ~ 0.5%^[2-6]。受篇幅所限，本文对此不作讨论，将碳酸盐岩烃源岩有机质丰度下限值拟定为 0.3%。

对区内 4 口钻井、4 条露头剖面 (剖面位置见图 1) 中生界海相层系有机质丰度分析 (图 2) 表明，寒武系至中三叠统海相烃源岩主要分布于下寒武统、上奥陶统五峰—下志留统龙马溪组底部和二叠系，其它层段有机质丰度总体较低，多为非烃源岩，仅个别剖面中少数样品达烃源岩标准。

下寒武统烃源岩以碳质泥页岩为主，碳酸盐岩为辅。前者残余有机碳含量高，一般大于 1.0%，多属好—最好的烃源岩；后者有机碳含量较低，分布局限，为次要烃源岩；烃源岩厚度 90 ~ 150 m。根据京山地区宋河横山剖面，京山马刨泉、惠亭山剖面，米苍山剖面，诺水河剖面，龙马剖面以及石柱马武剖面下寒武统有机质丰度横向变化特征及其标定的泥质烃源岩厚度横向变化趋势，结合前人研究成果^[1,7,9] 推测，下寒武统泥质烃源岩主要分布于早寒武世扬子克拉通南部和北部被动大陆边缘内带；扬子克拉通台内以碳酸盐岩沉积为主，烃源岩不发育。

五峰组—龙马溪组烃源岩岩性为硅质岩、碳质泥页岩。五峰组沉积厚度薄，仅数 m 至 30 m，龙马溪组烃源岩集中分布于其底部，厚度一般为 30 ~ 100 m；该层段烃源岩有机质丰度高，多属最好的烃源岩，如诺水河剖面，TOC 分布于 0.4% ~ 4.23% (其中仅 1 个样品 TOC < 2.0%)，平均

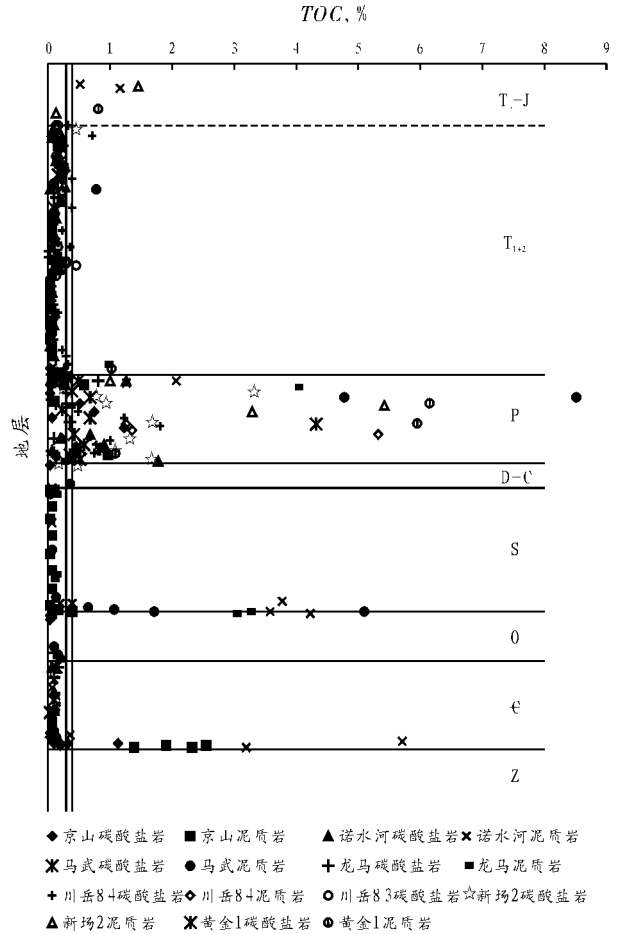


图 2 中上扬子北缘中生界海相层系有机质丰度垂向分布特征

Fig. 2 The vertical distribution of TOC in middle palaeozoic marine horizon in the north margin of middle and upper Yangtze region

值为 3.0%。在平面上，研究区西北部烃源岩呈北厚南薄的变化趋势，在西北缘宁强拗陷厚度最大 (曾 1 井区达 631.5 m)，至诺水河剖面减薄至 75 m (O_{3w} 厚 10 m; S_{1ln} 厚 65 m)，至川中一带则缺失；在南部湘鄂西区，该套烃源岩厚度一般为 50 ~ 80 m；而在北东区的京山一带，烃源岩发育极差，甚或缺失。

二叠系烃源岩岩性包括泥质岩、碳酸盐岩和煤，根据烃源岩达标情况及各类岩性地层厚度，其烃源岩以碳酸盐岩为主，泥质岩为辅，煤为次要烃源岩。碳酸盐岩烃源岩有机碳 (TOC) 一般分布于 0.3% ~ 1.0%，多属较好烃源岩；局部地区个别层段 TOC 较高 (最高可达 4.0% 以上)，属最好烃源岩。泥质烃源岩有机质丰度较高，TOC 一般大于 1.0%，属好—最好烃源岩。碳酸盐岩烃源岩横向上主要在广元—城口—京山裂陷盆地和利川—石柱裂陷盆地区发育最好，厚度一般为 100 ~

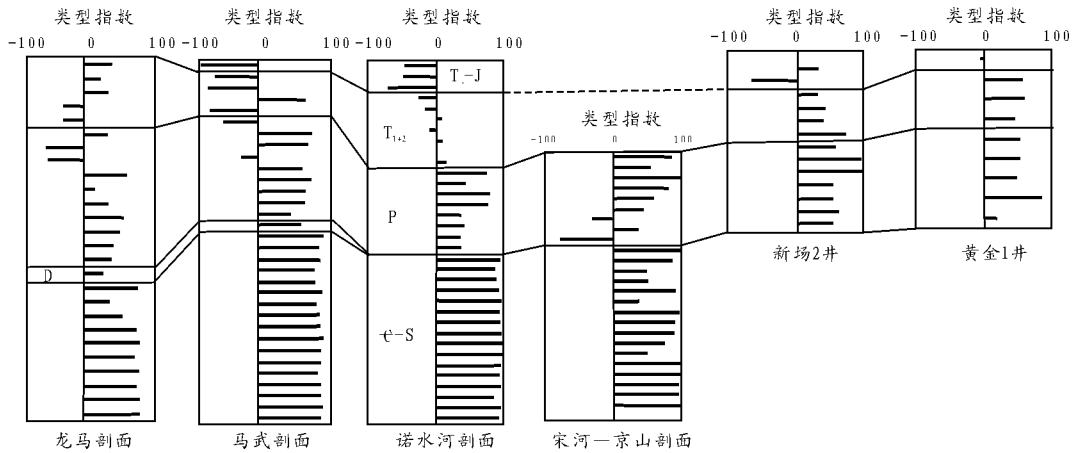


图 3 中上扬子北缘海相烃源岩干酪根类型指数对比图

Fig. 3 Comparison of kerogen type indexes of the marine source rocks in the north margin of middle and upper Yangtze region

200 m, 最厚可达600 m (鄂西渝东区); 泥质烃源岩厚度较薄, 一般仅 10 ~ 20 m, 主要分布于研究区南侧。

2. 2 有机质类型

有机质类型是决定烃源岩生烃潜力大小的因素之一, 是评价烃源岩的质量指标。用于研究有机质类型的方法分为有机岩石学法和有机地球化学法 2 大类。由于干酪根随热降解程度的增加, 其分子结构、元素组成均发生变化, 表征干酪根类型的一些参数值趋于一致, 难以将不同类型的干酪根加以区分, 如有机元素分析的 H/C 和 O/C 原子比、岩石热解的 HI 和 OI 及类型指数 (S₂/S₃) 等; 而区内中古生界海相层系有机质演化程度普遍较高。因此, 本次研究以全岩光片有机显微组分鉴定和定量统计、干酪根碳同位素分析方法为主, 可溶有机质有机地球化学特征分析方法为辅, 确定烃源岩有机质类型。

研究区内下古生界 2 套烃源岩有机显微组分以藻屑体、动物皮层体、矿物沥青基质等油倾性组分为主, 次生有机显微组分中沥青体、微粒体占有显著比例, 干酪根类型指数 TI 一般 80 (图 3)。寒武系干酪根碳同位素分布于 - 28. 52 ‰ ~ - 31. 19 ‰, 平均为 - 30. 12 ‰ (样品数 16), 五峰组—龙马溪组烃源岩干酪根碳同位素分布于 - 27. 72 ‰ ~ - 30. 83 ‰, 平均为 - 29. 11 ‰ (样品数 10) (图 4), 反映下古生界干酪根类型为 I 型。氯仿沥青“ A ”饱和烃正构烷烃分布呈前高单峰型, 规则甾烷中具较高含量的 C₂₇胆甾烷等分子地球化学信息同样揭示其生源组合以油倾性有机质为主, 干酪根类型属 I 型, 原始有机母质易于生油。

二叠系烃源岩生源组合面貌复杂多变, 既有以低等浮游水生生物为主的生源组合层段, 又有低等浮游水生生物和陆生高等植物共同输入的混合型生源输入组合面貌, 还有少量样品生源输入以陆生高等植物为主 (梁山煤系、龙潭煤系)。因此, 干酪根类型指数 (TI) 变化范围较大, 既有 TI < 0 的型干酪根, 又有 0 < TI < 80 的 I₁、I₂ 型干酪

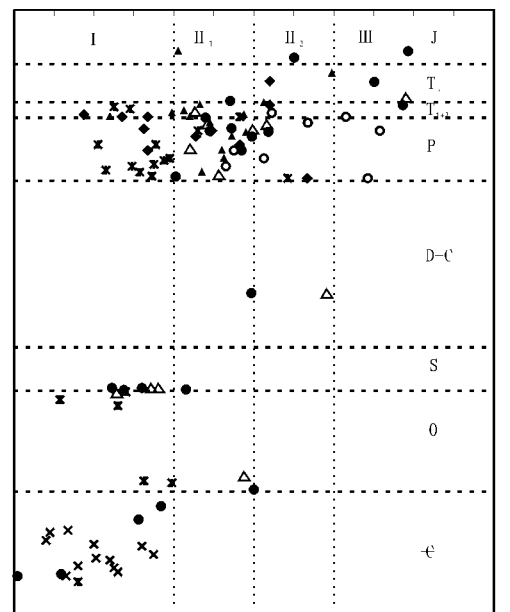


图 4 中上扬子北缘主要层系干酪根碳同位素及其类型划分

Fig. 4 The carbon isotope and types of kerogen in the main horizons in the north margin of middle and upper Yangtze region

根，还有 $TI > 80$ 的 型干酪根（图 3）。干酪根碳同位素分布于 $-24\text{‰} \sim -29\text{‰}$ （图 4）。氯仿沥青“ A ”饱和烃正构烷烃构成曲线可分为 3 种类型：前高双峰型（图 5a）、前高单峰型（图 5b）、对称型（图 5c）。这些特征同样反映二叠系烃源岩干酪根类型复杂多样，且主体以混合型为主。从各类型干酪根出现的频率看，干酪根类型主体为 1 型，其次为 2 型。

2.3 有机质热演化程度

烃源岩有机质热演化程度决定了油气生成的多少和油气资源结构，是烃源岩评价的基本参数。如表 1 所示，区内下寒武统烃源岩热演化程度变化不大，沥青等效镜质体反射率一般 $> 3.5\%$ ，处于过成熟晚期演化阶段或已超过生烃“死亡线”（ $R_o > 4.0\%$ ）。五峰组—龙马溪组烃源岩除京山剖面区处于高成熟期，演化程度相对较低外，其它地区沥青等效镜质体反射率分布于 $2.8\% \sim 3.3\%$ ，处于过成熟

中晚期演化阶段。二叠系烃源岩镜质体反射率主要分布于 $2.0\% \sim 2.5\%$ ，处于过成熟早期演化阶段，京山地区演化程度相对最低，处于生油晚期至高成熟演化阶段。从各套烃源岩演化程度而言，区内油气结构应以天然气为主。

在诺水河、新场 2 井、黄金 1 井、京山等剖面，各层系有机质演化程度随层系（埋深）的变化在二叠系均呈现出“ C ”型现象，它们可能是二叠系烃源岩生烃产生超压并对有机质熟化进程抑制作用所致。

3 烃源岩主要生标组合特征

中上扬子区北缘下寒武统、五峰组—龙马溪组、二叠系（不包括煤岩）3 套烃源岩具有以下生标组合特征（图 6，表 2）：

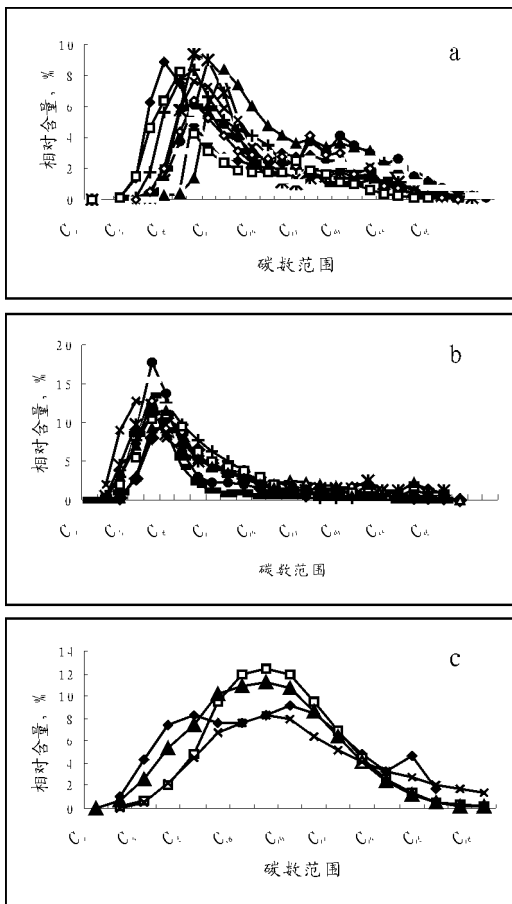


图 5 中上扬子北缘二叠系烃源岩正构烷烃构成曲线对比图

Fig. 5 Comparison of the normal alkane constitution curves of Permian source rock in the north margin of middle and upper Yangtze region

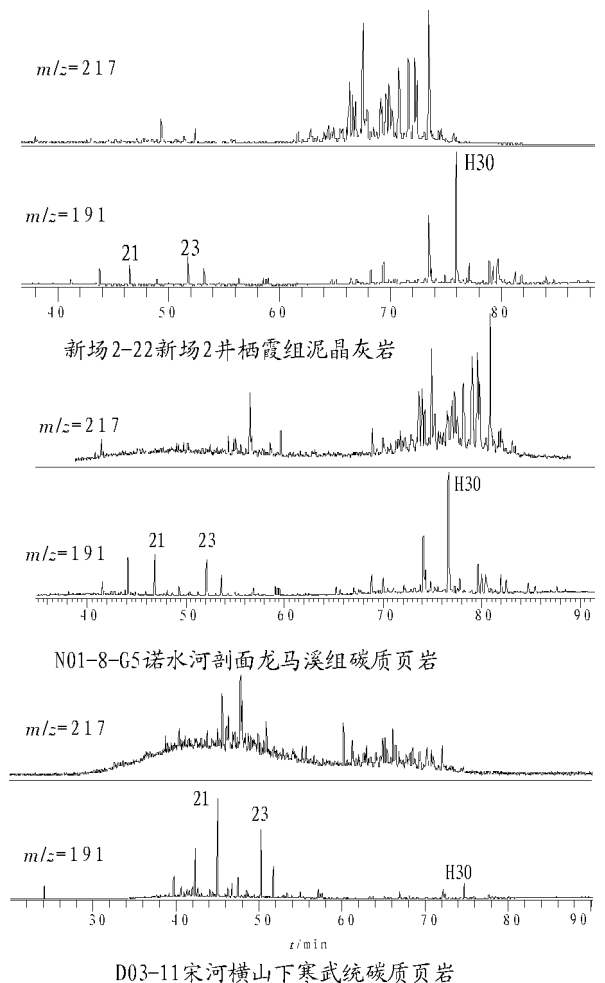


图 6 中上扬子北缘下寒武统、五峰组—龙马溪组、二叠系烃源岩甾、萜烷分布

Fig. 6 Distribution of seranes and terpanes in Lower Cambrian, Wufeng-Longmaxi Formation and Permian source rocks in the north margin of middle and upper Yangtze region

表 1 中上扬子北缘主要剖面烃源岩成熟度 (R_o, %)
Table 1 Maturity of the source rock in the main profiles in northern margin of middle and upper Yangtze region

剖面名称	烃源岩层系		
	P	O _{3w} -S ₁ In	Є ₁
诺水河	$\frac{2.48 \sim 2.81}{2.48 (6)}$	$\frac{2.85 \sim 3.17}{2.97 (3)}$	3.79~4.68
川岳 84	2.50		
新场 2	$\frac{1.79 \sim 2.12}{2.01 (11)}$		
黄金 1	$\frac{1.79 \sim 2.18}{2.00 (7)}$		
马武	$\frac{1.99 \sim 2.08}{2.05 (6)}$	$\frac{2.80 \sim 3.30}{3.11 (3)}$	>4.0
龙马	$\frac{1.79 \sim 2.69}{2.37 (9)}$	$\frac{2.83 \sim 2.96}{2.88 (3)}$	>4.0
京山	$\frac{1.2 \sim 1.4}{1.32 (11)}$	$\frac{1.65 \sim 1.96}{1.81 (6)}$	3.6~4.7

注: 分式含义为 $\frac{\text{最小值} \sim \text{最大值}}{\text{平均值 (样品数)}}$ 。

1) 下古生界烃源岩正构烷烃构成曲线一般呈前高单峰型, 碳数范围 12~38, 主峰碳为 nC₁₆、nC₁₇ 或 nC₁₈, Pr/nC₁₇、Ph/nC₁₈ 较低, Pr/Ph < 1, 轻重比相对较高, 总体反映为还原环境腐泥型干酪根产物的面貌。二叠系正构烷烃构成曲线可分为 3 类, Pr/Ph、Pr/nC₁₇、轻重比等结构组成参数与下古生界烃源岩的参数相比, 其变化范围大, 反映其沉积环境、生源组合面貌复杂多变。

2) 三环萜烷系列分布: 下寒武统烃源岩多以 C₂₁ 三环萜烷为主峰, C₂₁/C₂₃ > 1; 五峰—龙马溪组

烃源岩三环萜烷系列呈 “ Γ ” 分布型式, C₂₁/C₂₃ > 1; 二叠系烃源岩三环萜烷系列分布多以 C₂₃ 三环萜烷为主峰, C₂₁/C₂₃ < 1, 少数碳酸盐岩样品特征与下古生界烃源岩相似, 可能是源自下古生界的沥青叠加所致。

3) C₂₈ 三环萜烷/C₃₀ 藿烷、三环萜烷/五环三萜烷、2 × C₂₄ 四环萜烷/C₂₆ 三环萜烷、C₂₁₊₂₂ 甾烷/C₂₉ 谷甾烷、重排甾烷/规则甾烷、C₂₇ 规则甾烷/C₂₈₊₂₉ 规则甾烷等比值由下寒武统五峰组—龙马溪组二叠系, 随层系变新而降低。这一变化特点一方面反映了烃源岩演化程度渐次降低, 另一方面也反映了下古生界烃源岩生源组合以浮游低等水生生物为主, 原始有机母质易于生油; 而二叠系烃源岩则有较多陆生高等植物输入, 原始生烃潜力明显较下古生界要差。

4 结论

1) 中上扬子北缘中古生界海相层系主要发育 3 套烃源岩, 它们分布于下寒武统、上奥陶统五峰组—下志留统龙马溪组底部和二叠系。

2) 下寒武统烃源岩以泥质岩为主, 碳酸盐岩为辅。前者有机质丰度高, 有机质类型为 I 型, 多属好—最好烃源岩, 但其演化程度高, 普遍处于过成熟晚期或已超过生烃“死亡线”; 后者分布局限, 有机质丰度较低, 为次要的烃源岩。五峰组—龙马溪组烃源岩为硅质、碳质泥页岩, 有机质丰度高, 有机质类型为 I 型, 多属好—最好烃源岩, 现多处于过成熟中晚期演化阶段。二叠系烃源岩以碳酸盐岩为主, 泥质岩为辅。前者有机质丰度中等, 属较

表 2 中上扬子北缘中古生界海相烃源岩生标组合特征

Table 2 Characteristics of biomarker combination in middle Palaeozoic marine source rocks in the north margin of middle and upper Yangtze region

烃源层系	峰型	C ₂₁ /C ₂₃	C ₂₈ /C ₃₀ H	2C ₂₄ /C ₂₆	三/五	C ₂₁₊₂₂ T/C ₂₉ T	C ₂₇ T/C ₂₈₊₂₉ T	Dia/Reg
P	3 类	<1	$\frac{0.04 \sim 0.13}{0.08 (21)}$	$\frac{0.92 \sim 1.18}{0.98 (21)}$	$\frac{0.15 \sim 0.56}{0.31 (21)}$	$\frac{0.04 \sim 0.49}{0.16 (21)}$	$\frac{0.32 \sim 0.56}{0.41 (21)}$	$\frac{0.08 \sim 0.32}{0.17 (21)}$
O ₃ -S ₁	前高单峰	1	$\frac{0.08 \sim 0.16}{0.11 (7)}$	$\frac{0.88 \sim 1.76}{1.22 (7)}$	$\frac{0.33 \sim 0.71}{0.56 (7)}$	$\frac{0.20 \sim 0.76}{0.36}$	$\frac{0.38 \sim 0.58}{0.48 (7)}$	$\frac{0.11 \sim 0.38}{0.21 (7)}$
Є ₁	前高单峰	1	$\frac{0.09 \sim 0.25}{0.18 (7)}$	$\frac{1.15 \sim 1.72}{1.43 (7)}$	$\frac{0.58 \sim 4.09}{2.04 (7)}$	$\frac{0.62 \sim 3.08}{1.57 (6)}$	$\frac{0.45 \sim 1.00}{0.70 (7)}$	$\frac{0.44 \sim 1.21}{0.66 (6)}$

注: 1. C₂₁/C₂₃: C₂₁三环萜烷/C₂₃三环萜烷; C₂₈/C₃₀H: C₂₈三环萜烷/C₃₀藿烷; 2C₂₄/C₂₆: 2 倍 C₂₄四环萜烷/C₂₆三环萜烷; 三/五: 三环萜烷/五环三萜烷; C₂₁₊₂₂T/C₂₉T: (孕甾烷+升孕甾烷)/C₂₉谷甾烷; C₂₇T/C₂₈₊₂₉T: C₂₇规则甾烷/C₂₈₊₂₉规则甾烷; Dia/Reg: 重排甾烷/规则甾烷。

2. 分式含义为 $\frac{\text{最小值} \sim \text{最大值}}{\text{平均值 (样品数)}}$ 。

好烃源岩；后者 *TOC* 一般大于 1%，属好—最好的烃源岩。二叠系无论是碳酸盐岩烃源岩还是泥质烃源岩，其有机质类型复杂多样，以 T_1 型为主， T_2 型和 T_3 型相对较少；烃源岩热演化程度差异不大，主体处于过成熟早期演化阶段。

3) 三套烃源岩具有各自的有机地球化学特征，反映了它们生源组合面貌、沉积环境、热演化程度的差异。

参考文献：

- 1 吉让寿, 秦德余, 高长林等. 东秦岭造山带与盆地 [M]. 西安: 西安地图出版社, 1997
- 2 郝石生, 高岗, 王飞宇等. 高过成熟海相烃源岩 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1996. 134~150
- 3 梁狄刚, 张水昌, 张宝民等. 从塔里木盆地看中国海相生油问题 [J]. 地学前缘, 2000, 7 (4): 534~547
- 4 程克明, 王兆云, 钟宁宁等. 碳酸盐岩油气生成理论与实践 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1995. 276~336
- 5 饶丹, 章平澜, 邱蕴玉. 有效烃源岩下限指标初探 [J]. 石油实验地质, 2003, 25 (增刊): 578~581
- 6 秦建中, 刘宝泉, 国建英等. 关于碳酸盐岩烃源岩的评价标准 [J]. 石油实验地质, 2004, 26 (3): 281~286
- 7 杨斌, 贺晓苏, 徐云俊等. 中国南方下寒武统烃源岩评价与油气资源潜力 [J]. 海相油气地质, 1996, 1 (3): 31~38
- 8 窦立荣, 王一刚. 中国古生界海相碳酸盐岩油气藏的形成与分布 [J]. 石油实验地质, 2003, 25 (5): 419~425
- 9 蔡立国. 中国南方海相油气勘探主要研究方向 [J]. 石油实验地质, 2003, 25 (6): 634~636
- 10 唐飞龙. 中扬子区海相地层生物标记化合物的研究 [J]. 石油实验地质, 1994, 16 (4): 366~373

CHARACTERISTICS OF MIDDLE PALAEOZOIC MARINE SOURCE ROCK IN THE NORTH MARGIN OF MIDDLE AND UPPER YANGTZE REGION

Liu Guangxiang

(Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China)

Abstract: Organic geochemical researches on the Middle Palaeozoic marine profiles in the north margin of Middle and Upper Yangtze region show that the Middle Palaeozoic marine source rock mainly developed in Lower Cambrian, the bottom of Upper Ordovician Wufeng - Lower Silurian Longmaxi Formation and Permian. The Lower Palaeozoic source rock is mainly argillaceous rock with high organic abundance and is considered as the best source rock. The Upper Palaeozoic source rock is given first place to carbonate rock while making argillaceous rock subsidiary. The former belongs under the relatively good source rock with organic carbon usually being less than 1%. The latter belongs in the best source rock with high organic abundance. Types of organic matter in Permian carbonate and argillaceous source rock are many and complex with type T_1 being of primacy. The extent of thermal evolution of these three sets of source rock is generally high with equivalent vitrinite reflectance usually being more than 2.0%. Gas is dominant in Middle and Upper Yangtze region. Research on the organic geochemical features of soluble organic matter in source rock shows that the normal alkanes in Lower Palaeozoic source rock are of frontal monopeak while that in Permian source rock having three types. The ratios of C_{21} tricyclic terpanes to C_{23} tricyclic terpanes and C_{27} regular steranes to C_{28+29} regular steranes are low in Permian source rock while those in Lower Cambrian source rock being high. In Wufeng-Longmaxi Formation source rock, the above-mentioned ratios are between the both.

Key words: organic abundance; type of organic matter; evolution extent; biomarker; marine source rock; Middle and Upper Yangtze region