

文章编号: 1001-6112(2006)04-0359-07

上扬子东南缘下组合优质烃源岩发育及生烃潜力

腾格尔^{1,2}, 高长林¹, 胡凯², 潘文蕾¹, 张长江¹, 方成名¹, 曹清古¹

(1. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151;

2. 南京大学 地球科学系, 南京 210093)

摘要: 湘鄂地区海相下组合具备良好的油气勘探前景, 但地质条件复杂, 勘探程度低。咸丰、大庸地区可能烃源岩的系统观测和有机地化剖面研究显示, 下寒武统、上奥陶统五峰组一下志留统龙马溪组底部均发育一套黑色页岩, 其有机质丰度高, 总有机碳含量普遍大于 1%; 属藻腐泥型, 生烃潜力高; 具一定规模, 厚度达数十米至百余米, 分布稳定; 有良好的生烃和油气显示, 是 2 套优质烃源岩。晚侏罗世—白垩纪时, 下寒武统烃源岩已达过成熟早中期生干气阶段, 上奥陶统和下志留统烃源岩进入了高成熟晚期至过成熟早期阶段, 处于生气高峰期。这 2 套优质烃源岩的存在, 可为湘鄂西、鄂西渝东和雪峰山推覆带等地区下组合的油气生成、成藏提供雄厚的物质基础。

关键词: 烃源岩; 生烃潜力; 热演化史; 海相下组合; 上扬子东南缘

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

南方海相层系以志留系为界存在三叠系—志留系(上组合)和志留系—震旦系(下组合)两大油气勘探领域。上组合的油气潜力已为勘探实践所证实, 在四川盆地天然气勘探开发大场面已经形成^[1~3]; 下组合自 1964 年发现威远震旦系气藏以来, 一直受到人们的关注, 被认为资源潜力大, 受志留系区域滑脱面调整和刚性基底的影响仍存在广阔的构造相对稳定区, 是一个寻找大中型油气藏的重要勘探领域^[4~7]。近年来, 南方油气勘探已凸显海相下组合的重要地位, 但该领域地质条件复杂, 勘探程度低, 总体尚处于早期评价探索阶段^[3~7]。

勘探实践证实, 以有机质丰度高、类型好、生烃潜力高为鲜明特色的优质烃源岩对大中型油气田的形成具有重大作用, 其规模及时空展布控制着油气田的规模及分布^[8~11]。本文对上扬子东南缘咸丰、大庸(张家界)地区可能烃源岩层位进行系统观测、采样分析, 并基于有机地球化学、有机岩石学等研究, 建立相应的有机地球化学综合剖面, 尝试按连续测定的有机碳含量来划分烃源岩并确定其厚度, 探讨烃源岩生烃潜力及展布规律, 对湘鄂西、鄂西渝东和雪峰山推覆带等地区海相油气勘探具有重要意义。

1 样品采集及实验测试

研究区位于上扬子地台东南边缘, 加里东旋回使其接受了震旦纪—志留纪的被动大陆边缘海相

沉积。现今构造上咸丰地区高罗—当阳(来凤)、兴隆街—茨岩塘(龙山)剖面处于宜都—鹤峰复背斜, 出露寒武系至三叠系; 大庸地区筒车坪—军大坪剖面位于大庸—慈利断裂南侧, 出露震旦系至下奥陶统(图 1)。

样品视岩性和露头情况按一定等间距(10~50 m)系统采集(图 2, 3)。采样剖面多沿新打开的公路分布, 层位出露较为完整、新鲜。两区下组合共采集岩样 64 件, 进行了有机碳含量、热解、沥青“A”、干酪根碳同位素、有机元素、干酪根镜鉴及有机显微组分鉴定等多项实验测试。

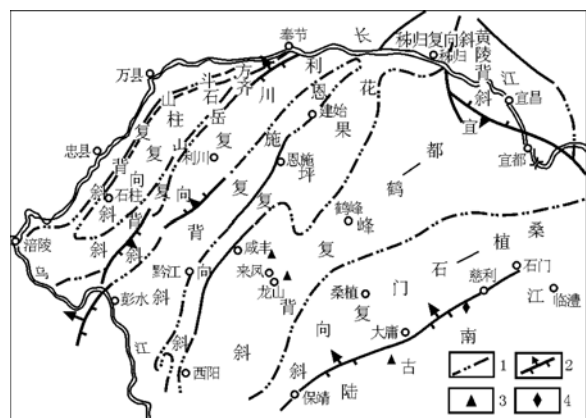


图 1 上扬子东南缘区域构造及剖面位置

1. 二级构造带; 2. 断层; 3. 剖面位置; 4. 古油藏

Fig. 1 The areal structure of the study area and section places

收稿日期: 2006-01-25; 修订日期: 2006-06-14。

作者简介: 腾格尔(1967—), 男(蒙族), 内蒙古人, 博士、高级工程师, 主要从事地球化学及油气地质研究。

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2005CB422102)和中石化股份公司科技项目(P04040)。

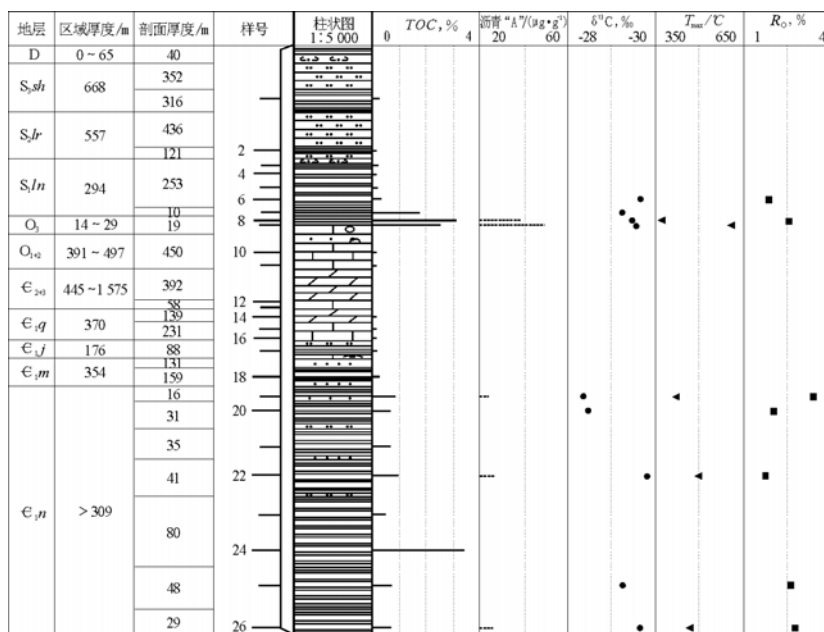


图 2 湘鄂西咸丰地区下组合有机地球化学综合剖面

Fig. 2 The composite profiles of organic geochemistry in the Lower Combination in Xianfeng area, the west of Hunan and Wubei Provinces

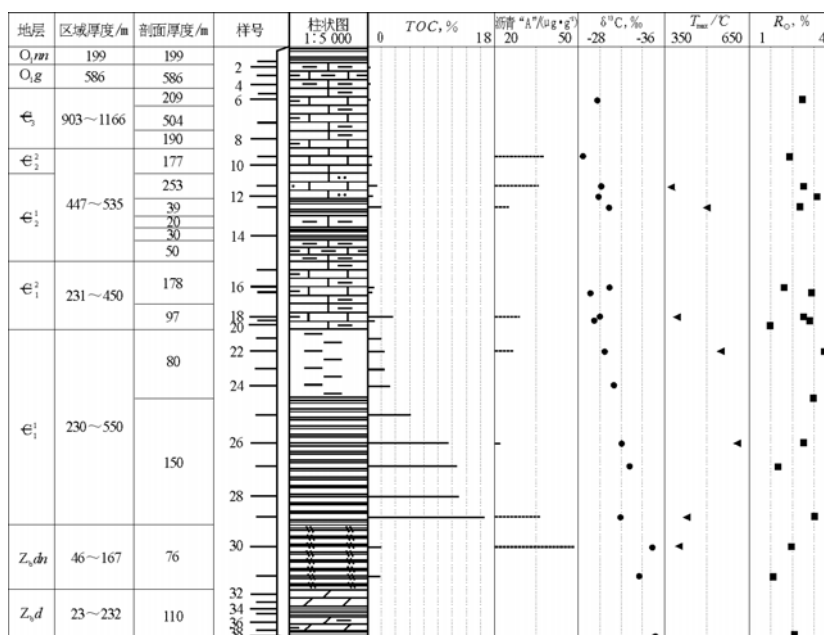


图 3 湘鄂西大庸地区下组合有机地球化学综合剖面

Fig. 3 The composite profiles of organic geochemistry in the Lower Combination in Dayong area, the west of Hunan and Wubei Provinces

根据野外实测、实验分析,结合区域地质资料,建立了咸丰、大庸地区下组合有机地球化学综合剖面,如图 2,3 所示。

2 烃源岩有机地化特征及生烃潜力

众所周知,烃源岩的生烃潜力是有机质质量和数量的函数,有机质丰度、类型和成熟度是关键

变量。

2.1 有机质丰度

正常热演化条件下,总有机碳含量、沥青“A”、生烃潜力(S₁+S₂)和总烃是评价烃源岩有机质丰度的常规指标,但高演化条件下,后 3 个参数通常失真而失去其原有的指示意义,故总有机碳含量(TOC)成为评价烃源岩及其生烃潜力的最主要指

标。对泥质烃源岩而言,其划分标准一般为0.5%;在高过成熟度阶段,TOC \geq 1%的烃源岩无疑为最好的烃源岩。

在上扬子东南缘地区,下寒武统牛蹄塘组($\epsilon_1 n$)普遍发育一套黑色页岩系(图2,表1),其在兴隆街—茨岩塘剖面上总有机碳含量为0.50%~3.45%,平均1.08%,沥青“A”含量为25.02~26.55 $\mu\text{g/g}$, $S_1 + S_2$ 为0~0.01 mg/g。而牛蹄塘组上部寒武系主要由粉砂岩、白云岩和灰岩等组成,总有机碳含量普遍小于0.25%(0.03%~0.25%)。

在高罗—当阳坪剖面上可观察到上奥陶统五峰组($O_3 w$)和下志留统龙马溪组($S_1 ln$)底部均发育一套黑色页岩系,两者厚度不大(20余米),但连续分布,发育广泛,故将其视为一套烃源岩,总有机碳含量为1.73%~3.12%,平均达2.46%,沥青“A”含量为37.89~49.94 $\mu\text{g/g}$, $S_1 + S_2$ 为0~0.02 mg/g。奥陶系其它层位以块状灰岩或瘤状灰岩等为主,总有机碳含量为0.06%~0.08%。龙马溪组黑色页岩段上部志留系以灰绿色粉砂质页岩、粉砂岩为主,总有机碳含量为0.06%~0.28%。

在大庸剖面上(图3,表1),震旦系陡山沱组($Z_b d$)由薄层白云岩、硅质岩和页岩组成,总有机碳含量为0.09%~0.51%,平均0.24%;灯影组($Z_b dn$)为薄层硅质岩夹页岩,总有机碳含量为2.00%~2.05%。下寒武统下段(ϵ_1^1)为一套黑色页岩系,总有机碳含量为2.04%~16.45%,平均7.73%,沥青“A”含量为22.55~37.16 $\mu\text{g/g}$, $S_1 + S_2$ 为0.01~0.02 mg/g;上段(ϵ_1^2)为灰岩夹泥页岩,纯灰岩总有机碳含量为0.08%~0.09%,泥页岩总有机碳含量为0.71%,泥页岩总有机碳含量为0.79%~3.68%,平均1.80%,沥青“A”含量为29.13 $\mu\text{g/g}$, $S_1 + S_2$ 为0.03 mg/g。中寒武统(ϵ_2)

下部亦见黑色页岩,总有机碳含量为1.94%,沥青“A”含量为25.41 $\mu\text{g/g}$, $S_1 + S_2$ 为0.01 mg/g;中上部为泥灰岩夹泥页岩,纹层状泥灰岩总有机碳含量为0.61%~1.22%,平均0.92%,沥青“A”含量为35.56 $\mu\text{g/g}$, $S_1 + S_2$ 为0.01 mg/g;厚层状泥灰岩总有机碳含量为0.41%,其夹层页岩总有机碳含量为0.49%,沥青“A”含量为38.88 $\mu\text{g/g}$, $S_1 + S_2$ 为0.01 mg/g。上寒武统(ϵ_3)由泥质条带灰岩组成,总有机碳含量为0.09%~0.26%,平均0.16%。

沥青“A”和 $S_1 + S_2$ 值因受高热演化影响而偏低,不能准确反映生烃潜力,故直接运用总有机碳含量来标定。在咸丰地区,牛蹄塘组和五峰组—龙马溪组底部黑色页岩段已达到好—最好的烃源岩标准,其余层段属于非或较差烃源岩,即使取总有机碳恢复系数的高值2.62^[12]进行恢复,原始总有机碳含量也不会有质的变化。在大庸地区,寒武系下统和中统下部黑色页岩中总有机碳含量高,下寒武统下段有机质尤为富集,连续4个样品(厚度80余米)总有机碳含量高达10%以上,这在南方乃至全国范围内下古生界是少见的,是一套最好的烃源岩;寒武系碳酸盐岩烃源岩的总有机碳含量总体较低,仅有个别样品(dy-33, dy-20-1)含量高达1%左右,多数层段属于非或较差烃源岩。在筒车坪剖面上的灯影组硅质岩总有机碳含量高,已达最好的烃源岩标准,而陡山沱组总有机碳含量低,属于非或较差烃源岩。

2.2 有机质类型

热解参数(氢指数 I_H)、干酪根元素比值(H/C)和干酪根碳同位素组成($\delta^{13}\text{C}_{\text{干酪根}}$)是划分有机质类型的主要指标。本次分析结果表明, I_H 和 H/C 值分别小于50和0.5,难于准确标定不同母质类型的干酪根。 $\delta^{13}\text{C}_{\text{干酪根}}$ 能够反映原始生物母质的特征,次

表1 上扬子东南缘下组合优质烃源岩有机地球化学特征
Table 1 The characteristics of organic geochemistry in the Lower Combination in the southeast of the Upper Yangtze area

剖面	层位	TOC, %	沥青“A”/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) ($S_1 + S_2$)/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{干酪根}}$, %	$T_{\text{max}}/^\circ\text{C}$	R_o 等效, %	
龙山 来凤	$O_3 w$ — $S_1 ln$ 底	1.73~3.12 2.46(3)	37.89~49.94 43.92(2)	0.00~0.02 0.02(2)	-29.26~29.55 -29.43(3)	371~608 490(3)	1.83~2.54 2.19(2)
	$\epsilon_1 n$	0.50~3.45 1.08(8)	25.02~26.55 25.87(3)	0.00~0.01 0.01(3)	-28.38~-29.84 -29.14(5)	424~500 466(3)	1.77~3.38 2.53(5)
大庸	ϵ_1^1	2.04~16.45 7.73(9)	22.55~37.16 28.72(3)	0.01~0.02 0.02(3)	-30.46~32.79 -31.72(5)	432~609 531(3)	1.99~3.61 2.96(4)

注:表中分式意义为 $\frac{\text{最小值} \sim \text{最大值}}{\text{平均值(样品数)}}$ 。

生的同位素分馏效应不会严重掩盖原始生物的同位素印记^[13,14], 普遍认为是划分高一过成熟烃源岩有机质类型的有效指标^[13,15]。由表 1、图 2 和图 3 可知, 咸丰和大庸地区, 震旦系、下寒武统、上奥陶统及下志留统样品 $\delta^{13}\text{C}_{\text{干酪根}}$ 值普遍轻于 -28% , 其中震旦系 $\delta^{13}\text{C}_{\text{干酪根}}$ 值为 $-33.71\% \sim -35.23\%$, 寒武系 $\delta^{13}\text{C}_{\text{干酪根}}$ 值为 $-28.38\% \sim -32.79\%$, 奥陶系和志留系 $\delta^{13}\text{C}_{\text{干酪根}}$ 值为 $-29.26\% \sim -29.65\%$, 按照干酪根碳同位素的划分标准^[13], 有机质类型均属腐泥型 (I 型), 以海洋菌藻类为主的生源组合, 其原始组分属富氢、富脂质, 具高生烃潜力。

2.3 有机质成熟度

镜质体反射率 (R_0) 是国际上公认的标定有机质成熟度的指标, 但不适用于下古生界烃源岩, 因为下古生界缺乏来源于高等植物的标准镜质组。在此情况下, 国内外学者提出了诸如沥青反射率 (R_b)、海相镜状体反射率、牙形刺相对荧光强度等成熟度的判识指标^[16], 其中沥青反射率已成为表征那些缺乏镜质体而含有沥青的海相烃源岩有机质成熟度的一个重要指标^[16,17]。

从干酪根镜鉴成果 (表 1, 图 2, 3) 来看, 在咸丰地区, 牛蹄塘组的 R_b 值为 $2.18\% \sim 4.63\%$, 平均 3.52% , 按照丰国秀^[18]的经验公式 ($R_0 = 0.6569 R_b + 0.3364$) 换算成等效镜质体反射率 ($R_{0\text{等效}}$), 为 $1.77\% \sim 3.38\%$, 平均 2.53% , 热解峰温 (T_{max}) 为 $424 \sim 500\text{ }^\circ\text{C}$, 平均 $466\text{ }^\circ\text{C}$, 表明有机质成熟度处在过成熟的早中期阶段, 生干气为主; 五峰组和龙马溪组 R_b 为 $2.28\% \sim 3.36\%$, $R_{0\text{等效}}$ 为 $1.83\% \sim 2.54\%$, 平均 2.19% , T_{max} 为 $371 \sim 608\text{ }^\circ\text{C}$, 平均 $490\text{ }^\circ\text{C}$, 处于高成熟晚期至过成熟早期阶段, 是干酪根热降解及早期生成的液态烃再次大量裂解生气的生气高峰期。在大庸地区, 下寒武统 R_b 为 $3.91\% \sim 4.99\%$, $R_{0\text{等效}}$ 为 $2.91\% \sim 3.61\%$, 平均 3.16% , T_{max} 为 $397 \sim 609\text{ }^\circ\text{C}$, 平均 $498\text{ }^\circ\text{C}$, 已达到过成熟中晚期阶段, 生干气为主。

本项目中烃源岩有机质成熟度和生烃类型是依据露头样品测试数据确定的, 结合研究区的沉积、构造演化史^[19]和南山坪古油藏演化史^[20,21]考虑, 这些成熟度可能反映了该地区遭受晚侏罗世—早白垩世燕山运动强烈冲断褶皱、抬升剥蚀前最大埋藏时的热演化程度, 之后因隆升剥蚀其有机质热演化至今处于停滞状态。但是, 上述烃源岩及生成的原油 (古油藏) 热演化程度向毗邻凹陷腹部和雪峰山推覆构造掩覆区因埋深加大、持续埋藏等原因会有进一步提高, 成为以生干气为主的气源, 进而保证了多期构

造演化条件下现今油气藏的动态平衡, 为湘鄂地区的天然气勘探提供了广阔前景。

需要指出的是, 研究区沉积、构造的“多旋回、强烈改造”特点使烃源岩经历了复杂而漫长的热演化过程, 给地层剥蚀量、埋藏史的有效恢复带来了极大困难, 加之成熟度指标自身的局限性等原因, 对其有机质成熟度和热演化史的系统恢复尚待深入研究。

3 烃源岩发育时期及空间展布

从上述烃源岩有机质丰度和类型不难看出, 时间上, 早寒武世初期牛蹄塘期和晚奥陶世五峰期至早志留世初期龙马溪期是该区烃源岩的主要发育时期。早寒武世初期正处于全球范围最大的海侵期和生物大爆发期^[22~24], 伴随广泛的缺氧事件^[25], 我国南方广泛沉积了一套富含有机质的黑色页岩系^[25,26], 是最有利于烃源岩发育时期。五峰期至龙马溪期, 在全球性海平面下降和海域萎缩的背景上, 区内形成了滞留、低能、缺氧环境^[26,27]。实际上有机质作为强还原剂, 其在牛蹄塘组、五峰组和龙马溪组底部具相对高含量本身就是沉积环境呈强还原性的有力证据, 加之相应时期区内黑色页岩的广泛沉积、具水平层理、含黄铁矿和盛产笔石等, 皆验证了此类环境的存在^[28]。富含笔石还表明当时浮游群体动物发育, 从食物链的角度可以预测浮游植物繁盛。这些为区内烃源岩发育提供了充足的物源和良好的保存条件。

震旦纪的陡山沱期也是南方一个重要的烃源岩发育时期, 但筒车坪—军大坪剖面上所见陡山沱组总有机碳含量并不高, 在南山坪剖面上平均值仅为 0.23% ^[20], 说明其发育是局部的。在筒车坪—军大坪一带, 灯影期沉积了富有机质的硅质岩, 但分布有限, 向北至南山坪一带岩性已变为白云岩为主, 是南山坪古油藏的主要储层^[20], 也是南方下组合中广泛发育的一个重要储层。

根据本次一定的等间距系统、连续测定的总有机碳含量纵向分布特征 (图 2, 3) 结合区域地质资料, 该区下组合烃源岩空间展布具如下特征:

下寒武统烃源岩: 在早寒武世时期, 该区属于扬子古板块东南缘被动大陆边缘, 当时咸丰测区处于外大陆架, 而大庸测区的东南区即筒车坪—军大坪一带正位于扬子沉积区的边缘, 属由大陆架向深水盆地过渡的斜坡带, 其岩性、泥质岩厚度和烃源岩发育程度等与大陆架部分有明显差别。就烃源岩发育程度而言, 主要表现在 2 个方面, 一是有机

质丰度,咸丰地区的牛蹄塘组与大庸地区的下寒武统下段相当,但后者有机质丰度远高于前者;二是空间展布,纵向上烃源岩在咸丰地区仅发育于下寒武统下部的牛蹄塘组,岩性以碳质页岩、黑色页岩为主,间夹粉砂岩、细砂岩等,总厚度约 280 m,而在筒车坪—军大坪一带从下寒武统至中寒武统均发育了好一最好烃源岩,总厚度超过 400 m,尤其下寒武统中下部以碳质页岩、黑色页岩为主,连续 $\text{TOC} \geq 1\%$ 层段厚度可达 330 m;横向上,该套烃源岩(黑色页岩)向北西石柱、利川方向渐次减薄,至彭水、石柱、利川一带变为 20~50 m,向东分布相对稳定。据前人研究成果,在桑植—石门复向斜地区黑色碳质页岩段厚度可达 216 m^[29],其南侧南山坪剖面上牛蹄塘组总有机碳含量平均达 3.87%^[20]。钻探成果也证实湘鄂西地区下寒武统泥质烃源岩平均厚度超过 350 m,总有机碳含量为 0.02%~6.04%,平均 1.22%(55 个样品)^[4]。

上奥陶统烃源岩:区内五峰组厚度较小,咸丰地区一般为 4~12 m,高罗—当阳坪剖面上厚度约 10 m,为紫灰色、黑色页岩夹深灰色硅质岩,富含笔石。但该层位分布稳定,向北西至石柱地区厚度为 4~16 m,向南东至大庸地区厚度为 0~40 m。据钻探统计资料^[4],湘鄂西地区奥陶系泥质烃源岩平均厚度超过 50 m,总有机碳含量为 0.01%~2.25%,平均 0.60%(24 个样品)。

下志留统烃源岩:龙马溪组主体是黄绿色、灰绿色粉砂质页岩、粉砂岩等,厚度一般为 300~600 m,在大庸测区可达 1 000 m 左右,但 $\text{TOC} \geq 0.5\%$ 的烃源岩仅发育于龙马溪组底部黑色页岩段,其在高罗—当阳坪剖面上,厚度为 10 m 左右,为碳质页岩、黑色页岩,富含笔石。前人研究也表明^[30],五峰组及龙马溪组底部黑色页岩分布几乎遍及整个扬子地区,前者厚度为数米至 30 m,后者为 35~80 m。

该套黑色页岩段上部志留系以粗粒、浅色为特色,是一套以氧化环境为主的陆棚相碎屑岩沉积,总有机碳含量普遍低于 0.5%(图 2,3),属于非烃源岩。若将底部黑色页岩段与其混为一体,不仅贫化有机质丰度,降低烃源岩质量,而且造成烃源岩厚度的偏高。这一点可从湘鄂西的钻探统计资料^[4]得到证实:下志留统泥质岩平均厚度达 733 m,总有机碳含量为 0.02%~4.47%,总平均值仅为 0.27%(89 个样品),整体达不到烃源岩标准。因此,笔者认为按照剖面上一定的等间距系统、连续测定的总有机碳含量来划分烃源岩并确定

其厚度更为合理有效,对各烃源岩层位的生烃量和生烃强度的准确评价尤为重要。

4 区内油气显示

干酪根镜鉴和有机显微组分鉴定显示,研究区寒武系、奥陶系和志留系烃源岩样品富含沥青,有些样品中含有多期沥青,其反射率变化在 1.77%~3.74%之间,这既预示着有机质曾有多次生烃过程,又反映出有机质热演化和生烃史的复杂性。

下古生界烃源岩的巨大生烃、成藏潜力已是不争的事实。大量研究和勘探实践表明^[8,10,20,21,30~33],湘西南山坪、贵州瓮安、麻江、同仁等古油藏的油源均来自下寒武统烃源岩;威远气田的天然气主要来自下寒武统筲竹寺组及其生成的古油藏原油裂解气;川东地区中生代天然气藏中,下寒武统、下志留统烃源岩都有不同程度的贡献;特别是,南山坪古油藏的发现说明了湘鄂西凹陷具有与四川威远气田相似的生油及成藏过程,可以预测在湘鄂西等地区若能找到好的盖层和圈闭,有望发现类似而又未被破坏的天然气藏^[20,21]。

湘鄂地区一直是我国南方海相油气勘探的重要领域之一,至今钻探井 40 余口。据其成果^[4]统计分析,钻入下古生界和震旦系的 32 口井中有 13 口井发现油气显示,其中钻遇地层生储盖组合不全时见油气显示率很低(12.5%),而钻遇地层生储盖齐全时,有较高的油气显示率(75%),表明探井成功率与钻遇地层的基本成藏要素——生储盖组合是否完备密切相关。

由此可见,研究区后期构造破坏严重,使得保存条件成为现今油气成藏的关键。然而,从油气成藏的动态平衡和大中型油气田的形成条件^[8,10,11]考虑,烃源岩质量及时空展布与储盖层、生烃成藏史与沉积构造演化史之间有效的时空配置也是区内现今油气成藏的关键,连续、充足的烃源条件等基本成藏要素缺一不可。

5 结论

1)在上扬子东南缘下组合中,下寒武统牛蹄塘组、上奥陶统五峰组—下志留统龙马溪组底部均发育一套黑色页岩,其有机质丰度高,残余总有机碳含量普遍大于 1%,属藻腐泥型(I型),生烃潜力高,均具有一定规模,厚度达数十米至 330 m,分布稳定,又有良好的生烃和油气显示,形成了 2 套优质烃源岩,可为鄂西渝东、湘鄂西和雪峰山推覆带等地区下组合的油气生成、成藏提供雄厚的物质

基础。

2)晚侏罗世—白垩纪时,研究区上奥陶统一下志留统烃源岩成熟度已达高成熟晚期至过成熟早期,处于生气高峰期;下寒武统烃源岩成熟度主要处于过成熟早中期生干气阶段;而同一层位的烃源岩及生成的原油热演化程度向毗邻凹陷腹部或雪峰山推覆体会有所升高,成为以生干气为主的气源,为湘鄂地区的天然气勘探提供了广阔前景。研究区后期构造破坏严重,生储盖的有效时空配置是现今油气成藏的关键,勘探研究中既要强调保存条件,又要加强烃源条件等的动态评价。

3)运用系统、连续测定的总有机碳含量来确定烃源岩及其规模更为合理有效。

参考文献:

- 1 谢姚祥,丁玉兰,罗启后. 21 世纪初叶四川盆地天然气发展前景[J]. 天然气工业,2000,20(6):1~6
- 2 马永胜,郭旭升,郭彤楼等. 四川盆地普光大型气田的发现与勘探启示[J]. 地质论评,2005,51(4):477~480
- 3 金顺爱. 中国海相油气地质勘探与研究——访李德生院士[J]. 海相油气地质,2005,10(2):1~8
- 4 周 雁. 湘鄂地区钻探效果分析及勘探方向[J]. 石油勘探与开发,1999,26(1):36~39
- 5 罗志立,刘树根,刘 顺. 四川盆地勘探天然气有利地区和新领域探讨(下)[J]. 天然气工业,2000,20(5):4~8
- 6 李干生. 从近期勘探成果展望勘探前景(之二)[J]. 中国石化,2003,210(3):17~20
- 7 李大成,赵宗举,徐云俊. 中国海相地层油气成藏条件与有利勘探领域分析[J]. 海相油气地质,2004,9(5):3~11
- 8 戴金星,王庭斌. 中国大中型天然气田形成条件与油气分布规律[M]. 北京:地质出版社,1997. 1~300
- 9 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]. 地质前缘,2000,7(4):534~547
- 10 郭彤楼,田海芹. 南方中生界油气勘探的若干地质问题及对策[J]. 石油与天然气地质,2002,23(3):244~247
- 11 宋 岩. 中国天然气资源分布特征与勘探方向[J]. 天然气工业,2003,23(1):1~4
- 12 夏新宇,洪 峰,赵 林. 烃源岩生烃潜力的恢复探讨——以鄂尔多斯盆地奥陶统碳酸盐岩为例[J]. 石油与天然气地质,1998,19(4):307~312
- 13 黄第藩,李晋超,张大江. 干酪根的类型及其分类参数的有效性、局限性和相关性[J]. 沉积学报,1984,2(3):18~33
- 14 Schidlowski M. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 值作为生物成因标志[A]. 见:约翰斯 R B 主编. 沉积记录中的生物标志物[M]. 王铁冠,黄第藩,徐丽娜等译. 北京:科学出版社,1991. 205~213
- 15 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. 126~127
- 16 涂建琪,金奎励. 表征海相烃源岩有机质成熟度的若干重要指标的对比与研究[J]. 地球科学进展. 1999,14(1):18~23
- 17 Jacob H. Disperse solid bitumens as an indicator for migration and maturity in prospecting for oil and gas[J]. Erdolund Kohle,1985,38:365
- 18 丰国秀,陈盛吉. 岩石中沥青反射率与镜质体反射率之间的关系[J]. 天然气工业,1988,8(3):20~25
- 19 刘树根,罗志立. 从华南板块构造演化探讨中国南方油气藏分布的规律性[J]. 石油学报,2001,22(4):24~30
- 20 赵宗举,冯加良,陈学时等. 湖南慈利灯影组古油藏的发现及其意义[J]. 石油与天然气地质,2001,22(2):114~118
- 21 赵宗举,朱 琰,邓红婴等. 中国南方古隆起对中—古生界原生油气藏的控制作用[J]. 石油实验地质,2003,25(1):10~17
- 22 许清华,奥伯亨斯利 H,高新元等. 寒武纪生物爆发前的死劫难海洋[J]. 地质科学,1986,(1):1~6
- 23 Conway M S. The Burgess shale faunas and the Cambrian explosion[J]. Science. 1989, 246:339~346
- 24 Steiner M, Wallis E, Erdtmann B D, et al. Submarine-hydrothermal exhalative ore layers in black shales from South China and associated fossils: Insights into a lower Cambrian facies and bio-evolution [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2001, 169:165~191
- 25 姜月华,岳文浙,业治铮. 华南下古生界缺氧事件与黑色页岩及有关矿产[J]. 有色金属矿产与勘查,1994,3(5):272~278
- 26 李胜荣,高振敏. 湘黔寒武系底部黑色岩系贵金属元素来源示踪[J]. 中国科学 D 辑,2000,30(2):169~174
- 27 陈 旭,肖承协,陈洪治. 华南五峰期笔石动物群的分异及缺氧环境[J]. 古生物学报,1987,26(3):326~344
- 28 腾格尔,刘文汇,徐永昌等. 缺氧环境及地球化学知识标志的探讨——以鄂尔多斯盆地为例[J]. 沉积学报,2004,22(2):365~372
- 29 文志刚,扬申谷,李建明等. 桑植—石门复向斜成藏条件探讨[J]. 江汉石油学院学报,2003,25(4):21~23
- 30 马 力,陈焕疆,甘克文等. 中国南方大地构造和海相油气地质[M]. 北京:地质出版社,2005. 265~275
- 31 刘光祥,陶静源,潘文蕾等. 川东北及川东天然气成因类型探讨[J]. 石油实验地质,2002,24(6):512~576
- 32 马永生,傅 强,郭彤楼等. 川东北地区普光气田长兴—飞仙关气藏成藏模式与成藏过程[J]. 石油实验地质,2005,27(5):455~461
- 33 蔡立国,饶 丹,潘文蕾等. 川东北地区普光气田成藏模式研究[J]. 石油实验地质,2005,27(5):462~467

HIGH-QUALITY SOURCE ROCKS IN THE LOWER COMBINATION IN SOUTHEAST UPPER-YANGTZE AREA AND THEIR HYDROCARBON GENERATING POTENTIAL

Tenger^{1,2}, Gao Changlin¹, Hu Kai², Pan Wenlei¹,
Zhang Changjiang¹, Fang Chengming¹, Cao Qinggu¹

(1. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China;

2. Department of Earth Science, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093, China)

Abstract: There are good oil and gas exploration prospect in the southeast of Upper-Yangtze area, but the geologic conditions are complicated and the degree of exploration is low there. The potential hydrocarbon source rocks in Xianfeng and Dayong areas were studied to determine the characteristics of their organic geochemistry, petrology, carbon isotope composition and thermal evolution, etc. Two series of high-quality hydrocarbon source rocks were discovered. They are the Lower Cambrian black shale and the Upper Ordovician Wufeng Formation-Lower Silurian Longmaxi Formation black shale in the Lower Palaeozoic. Both of them have characteristics as follows: 1) good organic types (sapropel type), high abundance of organic materials and hydrocarbon potentials; 2) large thickness and extensive distribution; 3) good hydrocarbon generating potential and evidences of oil (bitumen) and gas. At the Late Jurassic-Cretaceous, the thermal evolution degree of the hydrocarbon source rock in the Lower Cambrian has come to the early stage of over-mature at which the dry gas was generated. And the hydrocarbon source rock in the Upper Ordovician-Lower Silurian has come into the late stage of high-mature to the early stage of over-mature, which was the peak period of gas generation. These high-quality hydrocarbon source rocks provide abundant organic material basis for the hydrocarbon generation and accumulation in the Lower Combination in the west of Hunan and Hubei, the east of Chongqing and the Xuefengshan nappe zone.

Key words: hydrocarbon source rock; hydrocarbon generating potential; thermal evolution; the Lower Combination; the southeast of the Upper-Yangtze area

~~~~~

## 加拿大联邦地质调查局 Maowen Li 研究员访问无锡所

2006年6月25日—7月5日,应中国石化石油勘探开发研究院院长金之钧教授的邀请,加拿大联邦地质调查局高级研究员 Maowen Li 博士访问了中国石化石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所,并作了题为“Petroleum geochemistry in Canada: context and challenges”、“Petroleum geology and geochemistry of Devonian Carbonates in the WCSB: Implications for Chinese carbonate basins”、“Regional thermal maturity evaluation of Devonian—Mississippian marine strata: Problems and potential solutions”、“Origin of heavy oils and tarsands in Alberta: Subsurface oil biodegradation and significance for unconventional oil and gas resources”、“BSR, TSR, sour gas related geochemical issues”、“Mass fraction approach in oil—source correlation: fundamentals and examples of application”等6个专题学术报告,着重介绍了加拿大西部阿尔伯达省油砂和重质油资源勘探开发情况及非常规油气资源的重要性、加拿大海相油气地球化学研究面临的挑战,论述了古生界海相地层有机质成熟度评价方法的难点和可能途径、高含硫天然气及硫化氢成因机理等国内外普遍关注的科学热点和难点问题,并展示了自己最新的研究成果,其研究思路、工作方法和相关研究成果,对我国油气勘探开发研究具有很好的借鉴作用。

在该所访问期间, Maowen Li 博士重点参观了实验研究中心,并与相关实验研究人员就当前国内外有机地球化学实验测试面临的主要问题、发展方向以及实验室建设与管理等方面进行了广泛讨论和交流,认为该实验室设备先进、齐全,双方希望在油气实验测试新技术新方法如海相生物标志物绝对定量分析、油气二次运移的分子示踪分析及解释应用技术等领域开展合作研究。

(腾格尔)