

文章编号: 0253-9985(2001)01-0038-04

塔里木盆地煤系烃源岩生排烃模拟实验

王东良¹, 刘宝泉², 国建英², 郭树之²

(1. 中国矿业大学北京校区, 北京 100083; 2. 中国石油华北油田公司研究院, 河北任丘 062552)

摘要: 采自塔东北地区英吉苏凹陷华英参 1 井和维马 1 井的煤系生油岩模拟实验结果表明: 煤在 R_o 为 0.65% 之后, 液态烃产率急剧增加, 1.5% 之后, 迅速降低, 其生油高峰约在 R_o 为 1.0% 时, 每吨有机碳的最大产烃量约为 150 kg; 碳质泥岩与煤岩具有一定的相似性, 但液态烃产率受有机显微组分的影响; 灰色泥岩的生排油率很低, 以生成天然气为主, 当 R_o 接近 2.5% 时, 产烃量接近 200 kg。根据煤系烃源岩生排烃模拟实验结果, 可以建立演化阶段划分标准, 另外, 煤岩中显微组分的生烃能力还须进一步研究。

关键词: 煤系; 生排烃; 产率; 演化阶段; 塔里木盆地

第一作者简介: 王东良, 男, 38 岁, 高级工程师(博士生), 有机地球化学

中图分类号: TE122.1 文献标识码: A

1 样品

实验样品采自塔东北地区英吉苏凹陷华英参

1 井和维马 1 井, OEP 值均 > 1, 具有明显的奇偶优势; R_o 均 < 0.6%, 属未成熟样品。Pr/Ph > 1, 说明其处于沼泽相弱氧化环境; H/C 原子比 < 1, 有机质类型为典型的腐殖型(表 1)。

表 1 塔里木盆地模拟实验样品特征

Table 1 Characteristics of simulation samples from Tarim Basin

井号	样号	岩性	井深/m	层位	TOC/%	R_o /%	H/C	OEP	Pr/Ph
华英参 1 井	1	碳质泥岩	3 008	J ₂ k	6.03	0.44	0.934	2.50	3.91
	2	煤岩	3 077	J ₂ k	61.78	0.47	0.754	1.79	6.08
	3	灰色泥岩	3 208	J ₂ y	2.12	0.55	0.719	1.65	1.41
	4	煤岩	3 338	J ₂ y	63.32	0.52	0.898	1.46	1.96
维马 1 井	5	灰色泥岩	1 973	J ₂ k	3.67	< 0.60	0.714	—	—

2 仪器

实验仪器主要由三部分组成: 第一部分为反应釜, 采用大连自控设备厂生产的 GCF-0.25L 型反应釜, 设计压力 19.6 MPa; 第二部分为温控仪, 采用 XMT-131 数字显示调节仪; 第三部分为热解气及凝析油(或称轻烃)收采分离系统, 由液氮冷却的液体接受管(接受凝析油和水)、冰水冷却的螺旋状冷凝管及带刻度的气体收集计量管组成(图 1)。

3 条件

本次实验是在“八五”和“九五”攻关成果^[1]的基础上进行的, 对加温时间、样品颗粒及加水量等进行了改造。

(1) 样品用量: 碳质泥岩 25~50 g, 煤 20 g, 泥岩 110~250 g。

(2) 样品颗粒: 主要采用 2.5~10 mm 的样品, 这样大小的颗粒可用做全岩有机显微组分鉴定和反射率测定, 对排烃也是有利的。

(3) 加水量: 加入样品重量 10%~50% 的水, 产油量和产烃量都比较高。泥岩压实曲线显示: 在生油门限附近, 泥岩孔隙度大约降至 10%~13% 左右, 在大量排烃阶段伴随着结晶水的大量排出, 孔隙度下降至 5% 左右。这说明自然剖面的烃源岩在生排烃过程中, 源岩中含水量总是在 20% 以下。所以实验中煤和碳质泥岩加水量为岩样重量的 20%, 泥岩加水量为样品重量的 5% 是可行的。

(4) 模拟温度: 为了研究烃源岩从未成熟→低成熟→成熟→高成熟整个演化阶段的生排烃率及产物和残渣的演化规律, 选择 200℃, 225℃, 250℃,

275 °C, 300 °C, 325 °C, 350 °C, 400 °C和 500 °C共 9 个温度点进行实验。

(5) 加温时间: 加温时间对比实验表明, 加温时间要适当, 而且要根据模拟温度高低来选择。模拟温度低, 加温时间可长一些; 模拟温度高, 加温时间

就不能过长。当模拟温度 ≤ 300 °C时, 加温时间采用 24 h, 48 h 和 72 h 均可。模拟温度 ≥ 325 °C时, 由于裂解反应加剧, 加温时间不宜过长, 一般不超过 24 h。本次实验各温度点加温 24 h。

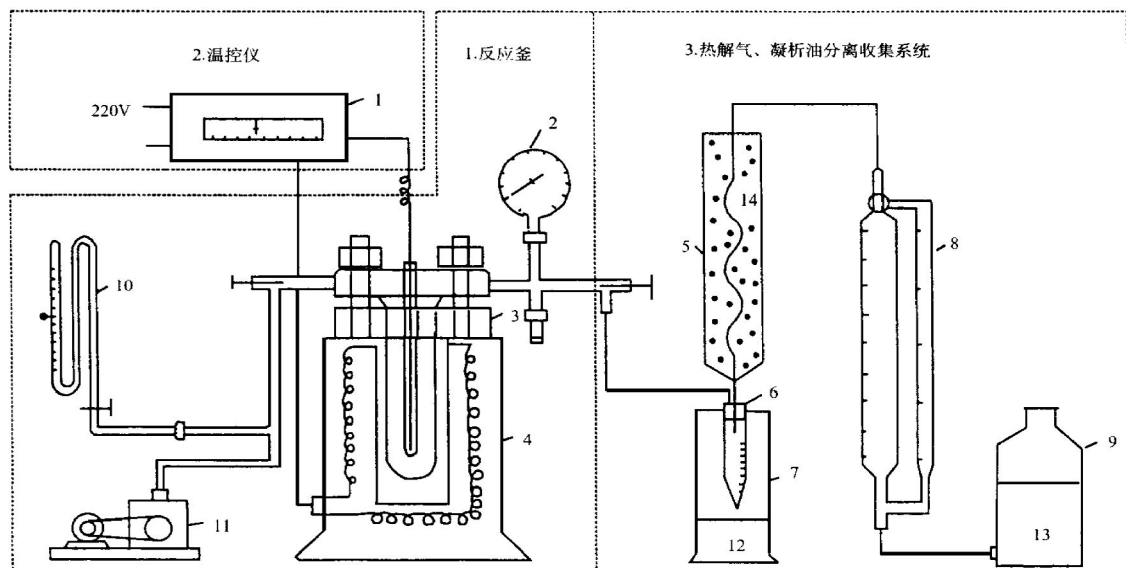


图1 热压模拟实验装置示意图

Fig. 1 Sketch map showing set up of thermocompression simulation test

1—温度控制仪; 2—真空仪; 3—高压釜; 4—加热炉; 5—冷凝管; 6—凝析油收集管; 7—液氮瓶; 8—气体收集瓶;
9—水准瓶; 10—真空计; 11—真空泵; 12—液氮; 13—饱和食盐水; 14—冰块

4 方法

将样品和去离子水加入到反应釜中, 密封反应釜后, 充入 5~ 6 MPa 的氮气, 放置试漏, 待不漏后, 放出氮气并用真空泵抽空再充氮气, 反复 3~ 5 次, 最后抽空。然后进行加温实验, 达到设定温度后恒温 24 h, 反应完毕, 待釜内温度降到 200 °C时开始放气。热解气首先通过液氮冷却的液体接受管, 再通过冰水冷却的螺旋管, 最后进入计量管收集并计量其体积, 并备作气组成及其它项目分析。

液体接受管中的水和凝析油, 为避免凝析油中轻烃的损失, 加入二氯甲烷后再进行分离, 并用二氯甲烷萃取水液 3 次。二氯甲烷中的凝析油通过色谱法进行定量。

高压釜盖、内壁和岩石表面附着的油状物用二氯甲烷冲洗, 二氯甲烷挥发后, 即得到排出的轻烃。模拟后的残样称重后, 进行有机碳、热解和反射率测定后, 用氯仿抽提沥青“A”或称残留油。

5 结果

每个样品均有 3 条演化曲线, 分别代表总产烃率、总生油率和残留油。以总产烃率曲线与总生油率曲线之间的区域代表烃气产率, 总生油率曲线与残留油曲线之间的区域代表排油量。因此用这 3 条线就可以描述烃源岩在热演化过程中各个阶段的生油量、排油量、残留油、烃气产量和总产烃量。

5.1 煤岩

煤岩在 $R_o < 0.65$ %时, 液态烃和气态烃产率都很低, 增加十分缓慢; 自 $R_o = 0.65$ %起, 液态烃产率急剧增加, 但气态烃产率增加仍较缓慢; 在 $R_o = 1.0$ %以前, 生成与排出的主要是液态烃; $R_o > 1.0$ %时, 气态烃产率随温度升高快速增加, 相应地液态烃产率随之减少; $R_o > 1.5$ %后, 液态油产率大大降低, 生成和排出的主要是气态烃, 标志着演化已进入高成熟阶段。纵观整个实验, 生油高峰约在 $R_o = 1.0$ %时, 每吨有机碳最大生油量约 45 kg; 最大产烃量(最高烃气产量)约 150 kg(图 2)。

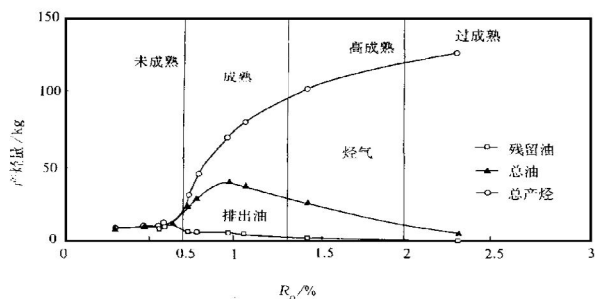


图2 煤岩生排烃实验结果图

Fig. 2 Test results of hydrocarbon generation and expulsion from coal measures

5.2 碳质泥岩

碳质泥岩与煤岩生排烃模式具有一定的相似性(图3)。但它的总产烃量、生排油量比煤岩高,每吨有机碳最大产烃量约200 kg。另外,它出现两个生油高峰,第一个生油高峰为 $R_o = 0.55\%$ 左右,生油量很低,约18 kg,且难以排出,这很可能是岩石中早期生油的壳质体生烃所致;第二个生油高峰约在 $R_o = 1.0\%$ 时,生排油量约为60 kg。再者,其液态烃产率急剧增加的时期比煤岩也稍有提前($R_o = 0.60\%$),这与其有机显微组成有密切关系。

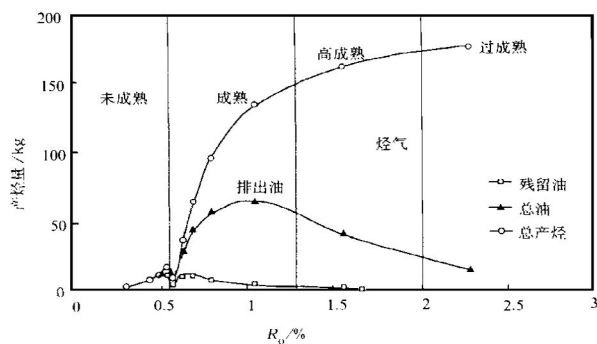


图3 碳质泥岩生排烃实验结果图

Fig. 3 Test results of hydrocarbon generation and expulsion from carbonaceous mudstone

5.3 灰色泥岩

灰色泥岩的生排油率很低,这与其显微组成中

表2 模拟样品各模拟演化阶段的成熟度参数

Table 2 Maturity parameters of different thermal evolution stages from simulation samples

演化阶段	$R_o / \%$	主峰炭	OEP	$T_{max} / ^\circ\text{C}$	H/C	干酪根颜色
未熟	< 0.6	nC_{25}	1.30~2.50	425~430	0.53~0.25	黄
低熟	0.6~1.3	$nC_{25} \sim nC_{19}$	1.30~1.10	> 430~460	0.80~0.25	黄-棕
高熟	1.3~2.0	$nC_{19} \sim nC_{17}$	1.17~1.05	> 460~500	0.55~0.40	棕-棕褐
过熟	> 2.0	$nC_{18} \sim nC_{17}$	1.17~1.05	> 500	< 0.40	棕褐-黑

(3) 高成熟阶段: 模拟温度380~450 $^{\circ}\text{C}$, $R_o = 1.3\% \sim 2.0\%$, OEP = 1.10~1.05, 奇偶优势消失,

壳质组含量很低相一致,以生成天然气为主。同时可见, $R_o = 1.5\%$ 之后,烃气产率直线升高, R_o 接近2.5%时产量接近200 kg,比煤岩高,与碳质泥岩相近(图4)。这与其有机显微组成结构相矛盾,很大可能是水参加反应造成的结果,具体原因仍有待研究。

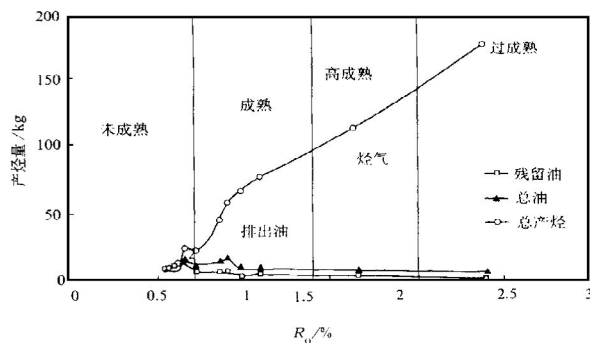


图4 灰色泥岩生排烃实验结果图

Fig. 4 Test results of hydrocarbon generation and expulsion from grey mudstone

6 讨论

6.1 划分演化阶段

根据油气演化曲线及模拟产物的热演化特征可将华英参1井的油气生成演化分为未成熟、成熟、高成熟和过高成熟4个阶段(表2)。

(1) 未成熟阶段: 模拟温度低于250 $^{\circ}\text{C}$, $R_o < 0.60\%$, OEP = 1.30~2.50, 具有很强的奇偶优势, T_{max} 为425~430 $^{\circ}\text{C}$, 干酪根类脂组为黄色, H/C原子比=0.93~0.75, 产油量较小。

(2) 成熟阶段: 模拟温度为250~380 $^{\circ}\text{C}$, $R_o = 0.60\% \sim 1.30\%$, OEP = 1.30~1.10, 由奇偶优势明显过渡到基本消失, $T_{max} = 430 \sim 465^{\circ}\text{C}$, 干酪根类脂组为黄-棕黄色, H/C原子比=0.80~0.55。生油量急剧增加, 并出现生油高峰, 高峰过后生油量迅速降低。

$T_{max} = 460 \sim 500^{\circ}\text{C}$, 干酪根类脂组为棕-棕褐色, H/C原子比=0.55~0.40。生油量继续迅速降低,

残留油很低并趋于稳定, 大量生成湿气, $C_1/\text{总烃气} < 80\%$ 。

(4) 过成熟阶段: 模拟温度 $> 450^\circ\text{C}$, $R_o > 2.0\%$, $OEP < 1.10$, 奇偶优势消失, $T_{\max} > 500^\circ\text{C}$, 干酪根类脂组为棕褐-黑色, H/C 原子比 < 0.40 。残留油已极低, 大量生成干气, $C_1/\text{总烃气} > 90\%$ 。

6.2 生烃组分

华英参1井煤岩、碳质泥岩和灰色泥岩的生排烃模式表明, 塔里木盆地煤系烃源岩生排烃总体上符合煤系烃源岩的基本特征, 总产烃率低, 气态烃生成量大。所不同的是从 $R_o = 0.60\%$ 左右开始, 烃类产量急剧增加, 幅度很大, 到 $R_o = 0.8\%$ 左右时, 总产烃率已经达到最大产烃率的 50% 左右, 这

一点在碳质泥岩中表现得尤为突出; 另一方面, 这一阶段生成的烃类中, 液态油所占比例较大。在 $R_o = 0.60\% \sim 0.70\%$ 之间, 生成的烃类几乎都是液态油, 在 $R_o = 0.70\% \sim 0.80\%$ 之间, 生成的液态油占总烃类的量, 碳质泥岩在 50% 以上, 煤岩占到 80% 左右。这对于处于低成熟的煤系烃源岩生烃来说, 是一个十分重要的信息, 对塔里木盆地侏罗纪煤系烃源层油气勘探具有非常重要的意义。本区煤系烃源岩中普遍发育孢子体、角质体遗迹和树脂体, 这是导致该区液态油比例较高的主要原因。

参 考 文 献

- 1 刘宝泉, 蔡冰, 方杰. 上元古界下马岭页岩干酪根的油气生成模拟实验[J]. 石油实验地质, 1990, 12(2): 147~160

SIMULATION TEST OF HYDROCARBON GENERATION AND EXPULSION FOR SOURCE ROCKS OF COAL-MEASURES IN TARIM BASIN

Wang Donglaing¹ Liu Baoquan² Guo Jianying² Guo Shuzhi²

(1. China University of Mining and Technology, Beijing; 2. Research

Institute of Huabei Oilfield Company, CNPC, Renqiu, Hebei)

Abstract: Simulation test of coal measure source rock was made with the samples collected from Huaying reference-1 and Weimar-1 Wells in Northeast Tarim Basin. The results indicate that when R_o is more than 0.65% , the ratio of liquid hydrocarbon generation increases rapidly; when R_o is greater than 1.5% , the ratio decreased rapidly; when R_o is 1.0% , the ratio is 150 kg/t.c and this is the peak of oil generation. The carbonaceous mudstone is similar to coal measures. The Hydrocarbon generation and expulsion of grey mudstone is low. When R_o is nearly 2.5% , the ratio is near to 200 kg/t.c . The division criterion of evolution stage could be established according to the simulation results.

Key Words: coal measures; hydrocarbon generation and expulsion; hydrocarbon generating ratio; evolution stage; Tarim Basin