

# 源岩镜质体反射率和有机质演化的热模拟研究<sup>①</sup>

郑国东<sup>1</sup> 罗斌杰<sup>1</sup> 程克明<sup>2</sup> 段毅<sup>1</sup>

<sup>1</sup>. (中国科学院兰州地质研究所, 兰州 730000)

<sup>2</sup>. (中国石油天然气总公司勘探开发研究院, 北京 100083)

**提 要** 本文对不同类型源岩进行了热模拟研究, 结果表明: 不同类型源岩在相同模拟温度的热作用下, 形成的镜质体反射率有很大的差别; 不同类型源岩的有机质在热模拟演化过程中, 液态烃高峰产率期出现的模拟温度阶段也存在明显的差异。因此, 用镜质体反射率作为造岩作用阶段和油气形成阶段划分的指标时, 应该考虑源岩性质和有机质类型等的影响。

**关键词** 镜质体反射率 热模拟 液态烃产率 造岩作用 油气形成阶段

**第一作者简介** 郑国东 男 35岁 博士 油气地质和环境地质

## 1 前 言

沉积有机质在造岩作用过程中逐步向油气转化, 其主要生油阶段(石油窗), 一般认为是深成热解作用的中期阶段, 其镜质体反射率  $R_o > 0.5\% \sim 0.7\%$ , 而  $< 1.3\%$ , 相应的温度范围大约是  $60 \sim 120^\circ\text{C}$ ; 未成熟阶段相当于成岩作用至深成热解作用早期阶段,  $R_o < 0.5\% \sim 0.7\%$ , 相应的温度低于  $60^\circ\text{C}$ ; 湿气和凝析油阶段对应于深成热解作用的后期阶段,  $R_o > 1.3\%$ , 而  $< 2.0\%$ , 相应的温度约  $120 \sim 210^\circ\text{C}$ ; 干气阶段处于后成作用阶段,  $R_o > 2.0\%$ ; 其后为变质作用阶段,  $R_o$  为  $4.0\%$  以上。Tissot 等<sup>①</sup>确定了不同类型干酪根油气生成阶段的镜质体反射率指标, 生油窗起始阶段的  $R_o$  值对Ⅱ型干酪根为  $0.5\% \sim 0.7\%$ , Ⅲ型干酪根为  $0.6\%$ , I型干酪根为  $0.7\%$ 。生油高峰期的镜质体反射率, Ⅱ型干酪根为  $0.8\%$ , Ⅲ型干酪根为  $0.9\%$ , I型干酪根为  $1.1\%$ 。生油门限和生油高峰期的镜质体反射率, Ⅱ型干酪根低于Ⅲ型干酪根, I型干酪根最高。进入凝析油和湿气阶段无明确界限。通常的镜质体反射率为  $1.2\% \sim 1.4\%$ , 其下界常见的  $R_o$  为  $2.0\%$ 。

但是, 许多地质学家和地球化学家在研究中曾经发现, 同一个地质剖面中有时出现镜质体反射率  $R_o$  值颠倒的现象, 或同—层源岩中具有两组镜质体反射率, 如民和盆地井区深灰色泥岩和油页岩样品测得两组镜质体反射率  $R_o$  数据, 一组为  $0.77\%$  和  $0.86\%$ , 另一组为  $1.37\%$  和  $1.24\%$ <sup>②</sup>。对这种现象用地质历史中特殊的热过程来解释, 认为是早期形成的

① 本项研究得到国家自然科学基金资助(名称: 塔里木盆地原油形成环境 编号: 48970119)

② 罗斌杰, 王有孝, 孟什祥, 周耀等. 民和盆地中生界生油层评价与油源对比. 1990.

收稿日期: 1995-07-29

变质程度较高的镜质体,经再沉积作用,聚集到较年青的沉积中,属于再循环的异地镜质体。有些研究中注意到,同一煤层中镜质组各显微亚组分的反射率往往是有差别的,变质程度越低,相差比率越大,随着变质程度增高,差别逐渐变小。此外,在低变质阶段,光片中不同方向的镜质组反射率差别很小,变质程度增高,差别增大,到无烟煤时,最大反射率与最小反射率之差,  $\Delta R_c$  值可达 2.5%<sup>(2)</sup>。

更进一步地认识或证实诸如此类问题的有效方法之一是对不同类型的源岩进行系统的热模拟实验,并作出合理的地质解释。由于热力作用过程对有机质演化和油气形成的控制和影响极其复杂,正确认识镜质体反射率在指示古地温和热力作用过程,以及有机质演化与油气形成中的作用,就具有十分重要的意义。本文从镜质体反射率和有机质演化的热模拟实验结果,讨论了不同类型的源岩在加热模拟过程中温度与镜质体反射率的特征,热模拟演化过程中温度与成烃阶段的相关性,以及镜质体反射率与成烃阶段的关系。

## 2 样品及实验结果

研究样品为典型地区和时代的煤与煤系泥岩、淡水与咸水湖相泥岩,以及海相碳酸盐岩等。其地质地球化学特征列于表 1。由表 1 可见,所用样品大多属未成熟源岩。地球化学资料表明,云南金锁褐煤、云南宝秀褐煤、新疆乌苏碳质泥岩、扎赉诺尔碳质泥岩及塔里木盆地巴 4 井灰岩为腐殖型的 III 型干酪根;山东黄县褐煤、茂名油页岩和冀中廊固凹陷安 29 井泥岩,具有混合型的 I 型干酪根特征,山西蒲县藻烛煤和浙江长兴残植煤具 I<sub>A</sub> 型特征,鄂尔多斯环 14 井灰岩为 I 型干酪根。泌阳凹陷 80 井泥岩可溶有机质氯仿“A”为  $7266 \times 10^{-6}$ ,总烃为  $4868 \times 10^{-6}$ ,红外光谱 2929/1600 比值为 4.3,表明其具有腐泥型的 I 型干酪根特征<sup>(3,4)</sup>。

表 1 热模拟样品地质地球化学特征

Table 1 Geochemical features of thermally simulating samples

采样地区	地层时代	岩性	镜质体反 射率(%)	干酪根原子比		干酪根镜检(%)			
				H/C	O/C	无定形	壳质体	镜质体	惰性体
云南宝秀 ZK4 孔	Q	褐煤	0.21	0.94	0.23		6.0	77.0	17.0
山东黄县	E	褐煤	0.42	1.03	0.16		1.0	96.0	3.0
云南金锁煤矿	E	褐煤	0.22	0.93	0.24		4.0	85.0	11.0
扎赉诺尔煤矿	J <sub>3</sub> K <sub>1</sub>	碳质泥岩	0.40	0.73	0.17				
新疆乌苏电站	J <sub>2x</sub>	碳质泥岩	0.42			1.25	12.00	79.25	7.50
浙江长兴	P	残植煤	0.60	1.06	0.06		82.83	15.65	1.52
山东蒲县	P	藻烛煤	0.45	1.00	0.06				
广东茂名	E	油页岩	0.30	1.15	0.12				
泌阳 80 井	Eh <sub>3</sub>	泥岩	0.27						
廊固安 29 井	Es <sub>3</sub>	泥岩	0.32	1.27	0.15	54.75	21.75	22.75	0.75
松辽桂 611 井	K <sub>1</sub>	泥岩	0.43			46.75	46.50	6.75	
塔里木巴 4 井	C	灰岩	0.42	0.75	0.14	37.25	5.50	44.00	13.25
鄂尔多斯环 14 井	O <sub>2p</sub>	灰岩	0.60			86.75		2.75	10.50

表2 镜质体反射率热模拟数据表  
Table 2 Data of simulating vitrinite reflectance

采样地区	岩性	原始值 $R_o$ (%)	热模拟温度的镜质体反射率							
			200 C	300 C	350 C	400 C	450 C	500 C	550 C	600 C
山东黄县	褐煤	0.42		0.60	0.87	1.24	1.53	1.80	2.06	2.80
云南保秀 ZK4 孔	褐煤	0.21	0.88	1.24 <sup>①</sup>	1.56 <sup>②</sup>	1.90	2.50	2.90		
云南金锁煤矿	褐煤	0.22		0.53	0.68	0.84	1.31	1.87	2.48	3.02
新疆乌苏	褐煤			0.55	0.56	0.64	1.09	1.29	1.80	2.50
浙江长兴	残殖煤	0.60	0.66	0.71	1.27	1.67	2.30	2.56	3.42	4.10
山西蒲县	藻蚀煤	0.45		0.57	0.81	1.31	1.92	2.56	3.09	3.48
新疆乌苏电站	碳质泥岩	0.42	0.52	0.79	0.92	1.14	1.49	1.76	2.86	3.42
扎赉诺尔煤矿	碳质泥岩	0.40	0.61	0.85	1.10	1.21	1.43	1.69	2.09	3.01
广东茂名	油页岩	0.30	0.51	0.63	0.91	1.61	2.01	2.46	2.90	3.29
泌阳 80 井	泥岩	0.27	0.46	0.66	1.03	1.76	2.02	2.46	2.60	3.15
安 29 井	泥岩	0.32	0.52	0.70	0.95	1.27	1.71	2.30	2.70	3.10
杜 611 井	泥岩	0.43		0.57	0.83	1.30	1.76	2.20	2.69	3.15
环 14 井	灰岩	0.60		0.70	1.20	1.53	1.83	2.05	2.64	3.60
塔巴 4 井	灰岩	0.42			0.55	1.04	1.55	1.64	1.83	2.09

(据程克明等,1989) ① 280 C 条件下 ② 340 C 条件下

表3 镜质体反射率和产率高峰期热模拟数据表  
Table 3 Data of vitrinite reflectance and thermal simulation in the peak production

采样地区	地层时代	岩性	产率高峰期		产率高峰阶段的产率(kg/t <sub>org</sub> )		
			模拟温度 T	反射率 $R_o$ (%)	氧仿 "A"	热解液态烃	液态有机质
云南金锁煤矿	E	褐煤	300	0.53	61.55		61.55
			400	0.84	55.45	20.72	76.17
			450	1.31	31.96	35.27	57.23
云南宝秀 ZK4 孔	Q	褐	200	1.24	23.82	12.76	36.50
			320	1.40	16.24	22.93	39.17
			340	1.56	10.01	25.99	36.00
山西蒲县	P	藻蚀煤	300	0.57	167.18	12.93	180.11
			400	1.13	13.98	114.88	120.86
浙江长兴	P	残殖煤	350	1.27	221.93	46.11	268.04
			400	1.67	161.24	62.00	223.24
新疆乌苏	J <sub>2x</sub>	褐	450	1.09	34.32	25.59	59.91
山东黄县	E	褐煤	400	1.24	28.77	19.61	48.38
			500	1.53	24.86	27.60	52.46
广东茂名	E	油页岩	350	0.91	103.43	40.04	143.47
			400	1.61	52.05	99.85	151.90
泌阳 80 井	Eh <sub>3</sub>	泥岩	350	1.03	153.93	143.60	297.53
			400	1.76	22.89	185.20	208.09
松江杜 6 井	K <sub>1</sub>	泥岩	300	0.57	20.19	54.34	74.53
			400	1.30	40.12	15.59	55.71
麻固安 29 井	Eq <sub>2</sub>	泥岩	350	0.95	5.33	54.43	59.76
			400	1.27	19.91	44.81	64.72
新疆乌苏电站	J <sub>2x</sub>	碳质泥岩	300	0.79	20.42		20.42
			400	1.14	7.95	51.13	59.00
环 14 井	O <sub>2p</sub>	灰岩	350	1.20	13.24	27.21	40.45
巴 4 井	C	灰岩	350	0.55	40.00		40.00
			400	1.04	7.33	22.50	29.83

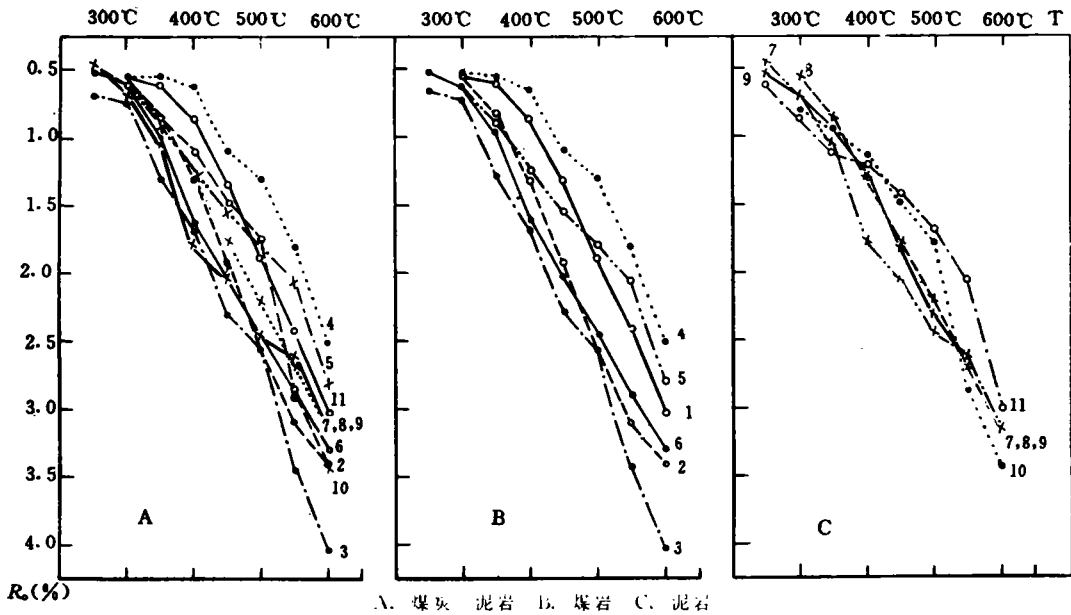
(据程克明等,1989)

分析条件与作者以前报道的相同<sup>①</sup>,热模拟温度是从 250℃到 600℃,并分 8 个阶段加热,每阶段增加温度为 50℃,恒温 40 小时,实验结果列于表 2 和表 3。表中资料显示,经受同样的热模拟温度,不同类型源岩形成的镜质体反射率  $R_o$  值有一个很大的变化范围,液态烃产率高峰期阶段出现时的温度和镜质体反射率也有很大的差异。

### 3 讨论

#### 3.1 源岩镜质体反射率 ( $R_o$ 值) 的热演化特征

各类源岩样品在热模拟过程中,镜质体反射率 ( $R_o$ ) 随热模拟温度  $T$  的增加而有规律地增大。但对不同源岩样品,在加热过程中  $T$  与  $R_o$  值变化曲线的形态差异很大。在 250℃ 起始温度下,各类源岩样品的  $R_o$  值都比较接近,其最大差值为 0.2%。随着模拟温度增加,不同源岩之间在相同温度作用下的镜质体反射率值增大,为 9.40%—1.62%。 $T-R_o$  关系图上表现为各曲线逐步分开,有如一束撒开的柳丝(图 1A)。



岩样号: 1. 云南金锁褐煤 2. 山西蒲县藻烛煤 3. 浙江长兴残殖煤 4. 新疆乌苏褐煤  
5. 山东黄县褐煤 6. 广东茂名油页岩 7. 泌阳 80 井泥岩 8. 松辽杜 611 井泥岩  
9. 冀中安 29 井泥岩 10. 新疆乌苏碳质泥岩 11. 扎赉诺尔碳质泥岩

图 1 源岩加热镜质体反射率 ( $R_o$ ) 变化关系曲线

Fig. 1 Variation trending lines of simulating vitrinite reflectance of various source rocks

不同类型的源岩样品,其  $T-R_o$  曲线的形态特征明显不同。少数样品呈现为近于直线的关系,如松辽盆地的泥质源岩;多数样品的  $T-R_o$  曲线略呈弧形,部分是上弧形(曲线向上弯曲),如泌 80 井泥岩,茂名油页岩,更多的是下弧形(曲线向下弯曲),如新疆乌苏褐煤、扎赉诺尔碳质泥岩等。许多煤岩样品和碳质泥岩样品在 250—400℃ 的低温热模拟阶

① 程克明, 张文正, 关德师等. 烃源岩成经过程热压模拟实验研究. 1989.

段, 镜质体反射率的起始增值较高, 但其增长速度较低, T—R<sub>v</sub> 曲线较平缓。在 400℃ 以后随模拟温度增高, 镜质体反射率增长较快, T—R<sub>v</sub> 曲线变陡, 呈现明显的二段式, 或更加复杂的情况。在 250—400℃ 阶段, 一些泥岩类源岩的镜质体反射率起始增值较低, 但随模拟温度增高, 其镜质体反射率比煤岩的增长率要大些 (图 1 中 B 和 C)。

T—R<sub>v</sub> 曲线的特征与源岩类型密切相关, 泥岩类的镜质体反射率相互间的同温差值比煤岩类的变化小。不同煤岩之间的镜质体反射率的同温差值变化很大, 在热模拟过程中随着模拟温度增高, 新疆乌苏褐煤、山东黄县褐煤和云南金锁褐煤的镜质体反射率较低, 而山西蒲县的藻烛煤、浙江长兴残殖煤和广东茂名油页岩的镜质体反射率较高。泥岩类的镜质体反射率变化介于其间, 处于 T—R<sub>v</sub> 曲线束的中间值带。图 1 还显示出, 随着热模拟温度的增加, 不同岩类镜质体反射率的增长有一定的顺序, 以木质褐煤的增长率最小, 依次增大的是碳质泥岩、淡水微咸水湖相泥岩、咸水湖相泥岩和油页岩, 藻质煤的增长率最大。经细菌改造的残殖煤, 镜质体反射率增长率也是较高的。

油气形成研究最重要的热模拟温度阶段是 300—400℃, 对这个阶段的热模拟研究显示出:

① 在同一加热温度阶段, 不同类型的源岩其镜质体反射率不相等, 而在不同的热模拟温度阶段, 镜质体反射率的差值不同, 并有不同的关系特征。加热温度在 300℃ 时, 各类煤的镜质体反射率值相近, I 型有机质的煤, 其镜质体反射率略大于 II 型有机质的煤, 碳质泥岩的镜质体反射率高于煤和湖相泥岩; 350℃ 时, 碳质泥岩的镜质体反射率略高于或略低于湖相泥岩, I 型有机质的煤, 其镜质体反射率显著地大于 II 型煤, 湖相泥岩的镜质体反射率显著地大于碳质泥岩。② 不同类型的源岩, 在同一加温过程中, 其镜质体反射率增长变化的幅度有很大的差异。热模温度从 300℃ 增到 450℃, 新疆褐煤镜质体反射率只增加 0.54%, 扎产诺尔碳质泥岩增加 0.85%; 山东黄县褐煤增加 0.98%, 冀中安 29 井泥岩增加 0.91%, 而泌阳 80 井泥岩增加 1.36%, 浙江长兴残殖煤却增加 1.59%。无论是煤还是泥岩, 腐殖型有机质在加热过程中镜质体反射率增大的幅度较小, 腐泥型有机质增大的幅度大, 混合型有机质增大的幅度居中。在 450℃ 的热模拟阶段, 各类煤的镜质体反射率差别很大, 藻烛煤、油页岩和残殖煤高于褐煤, 湖相泥岩高于碳质泥岩。高热作用阶段, 褐煤类和碳质泥岩的镜质体反射率最低 (图 2)。

同一镜质体反射率 R<sub>v</sub> 值, 对不同类型的源岩, 它所反映的受热阶段是不同的, 可以相差很大。在热模拟的 T—R<sub>v</sub> 曲线图中, R<sub>v</sub> 值为 0.6% 时, 反映的受热温度范围为 250 至 350℃, 最大差值为 100℃; R<sub>v</sub> 值为 1.0% 时, 反映的受热温度范围是 325 到 450℃, 最大差值为 125℃; R<sub>v</sub> 值为 1.5% 时, 反映的受热温度范围为 380—520℃, 最大差值为 140℃; R<sub>v</sub>

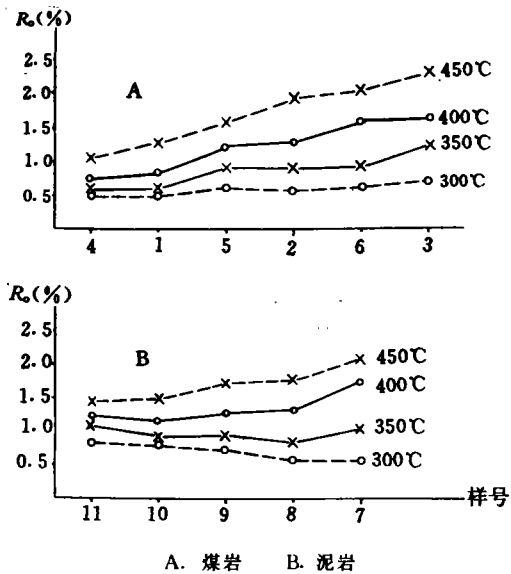


图 2 各类样品在热模拟阶段的镜质体反射率 (岩样号同图 1)

Fig. 2 Vitrinite reflectance of various source rocks during different simulating phase

值为 2.0% 时,反映的受热温度范围为 425 至 565℃,最大差值为 140℃;  $R_o$  值为 2.5% 时,反映的受热温度范围为 470 至 600℃,最大差值为 130℃。由此可见,源岩的类型不同,其镜质体反射率  $R_o$  值所反映的受热温度可相差达 100 至 140℃。同一  $R_o$  值,对不同类型的源岩,所指示源岩经受的热演化阶段和油气的成熟阶段是很不相同的。对木质褐煤而言,其受热的温度和成熟度较藻烛煤和残殖煤高;而对碳质泥岩,在 300℃ 前,较淡水湖相泥岩和咸水湖相泥岩的成熟阶段低,400℃ 以后,则较湖相泥岩要高。

综合上述,热化学过程中源岩的镜质体反射率  $R_o$  值,明显地受源岩性质和有机质母质类型的控制。其原因是不同条件(环境)下形成的镜质体在组成和精细结构上可能有所不同,在受热过程中的演化程度也不同,进而所显示出的反射率值将会有所差别。地质剖面中出现的某些镜质体反射率的颠倒,正是与上述的原因有关。由于不同岩类的镜质体受热时的光学特征存在差异,用相同的  $R_o$  值作为油气源岩成熟阶段的划分标尺,就会导致不准确的认识和结果。而用同一镜质体反射率  $R_o$  值指示不同类型源岩的成油门限深度和成油成气阶段的深度等,也将出现差错,并进一步影响油气的勘探和资源潜能评价。

### 3.2 源岩热演化模拟的液态烃产出

在受热演化过程中,随着温度增高有机质向油气转化。热模拟研究表明,不同类型的源岩,其热演化的总体规律是一致的,在 250℃ 时,还多处于转化的初始阶段,氯仿沥青“A”和热解液态烃产率很低;350—400℃ 时为氯仿沥青“A”和热解液态烃产率的高峰阶段;500℃ 时,氯仿沥青“A”和热解液态烃产率下降到很低的数值。部分源岩的氯仿沥青“A”和热解液态烃产出特征稍有不同,如松辽盆地泥岩、山西蒲县藻烛煤氯仿沥青“A”和热解液态烃产率高峰阶段为 300℃ 前,泌阳 80 井的泥岩,在 250℃ 时也已具有较高的氯仿沥青“A”和热解液态烃产率,可达 100 kg/tC<sub>org</sub>,其产率高峰期的温度为 350℃。表现出这些类型的源岩,其产率高峰阶段所需的加热温度较低。

产油高峰期的温度在油气资源评价中是一个重要的温度参数,这个阶段的镜质体反射率  $R_o$  值,是指示油气形成阶段的直接依据。热模拟结果表明,不同源岩生油高峰期的模拟温度在 300—450℃ 之间,相差很大。反映了有机质组成不同,其活化能不同,转化为油气所需要的能量也就不同。又因为同一热模拟温度下镜质体反射率  $R_o$  值存在的差异,不同源岩生油高峰期时的镜质体反射率  $R_o$  值比较复杂,如果把氯仿沥青“A”加上热解液态烃视为“原质油”,则热模拟的产油高峰期阶段镜质体反射率  $R_o$  值在 0.57%—1.7% 之间。

在热模拟中,氯仿沥青“A”和热解液态烃的产率高峰期以及“原质油”产率高峰期的热模拟温度和镜质体反射率的概率分布表明,它们的产率高峰阶段,模拟温度的概率分布主要在 350—400℃,少数分布在 300℃ 与 450℃。氯仿沥青“A”产率高峰期的分布概率,模拟温度以 300℃ 与 350℃ 为主,  $R_o$  值以 0.4%—0.8% 和 1.0%—1.3% 为主;热解液态烃产率高峰期的分布概率,模拟温度以 400—450℃ 为主,  $R_o$  值以 1.0%—1.3% 和 1.5%—1.7% 为主,“原质油”的产率高峰期分布概率,模拟温度以 350—400℃ 为主,  $R_o$  值以 1.0%—1.3% 为主,其次是 0.4%—0.8%。氯仿沥青“A”产率的高峰期一般早于热解液态烃的产率高峰期,小部分样品其产率高峰阶段一致,只有个别样品的热解液态烃产率高峰阶段出现在氯仿沥青“A”的产率高峰期前。而“原质油”的产率高峰期,或与氯仿沥青“A”的产率高峰期一致,或与热解液态烃的产率高峰期一致,或介于其间,取决于它们两者的产率大小(图 3)。

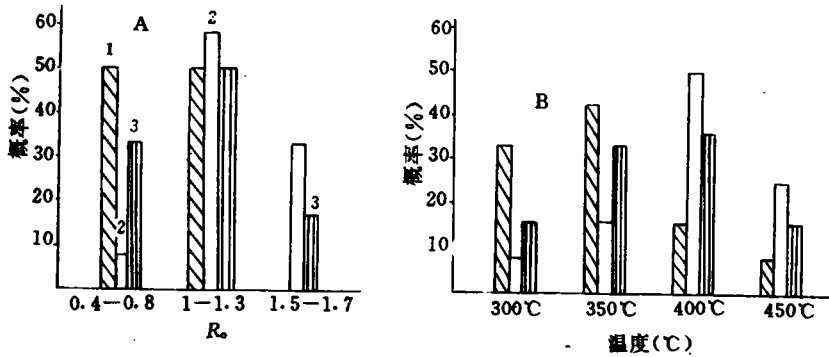
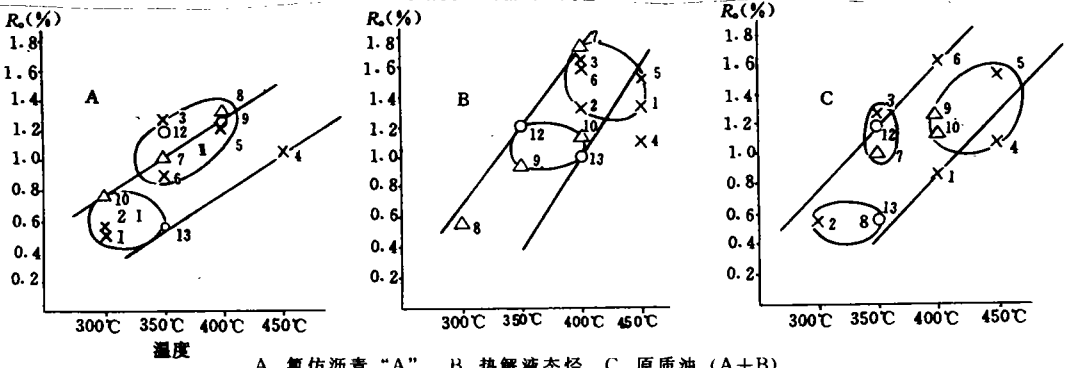


图3 各类产物最高产率阶段的镜质体反射率和热模拟温度分布概率图(样品数12)

Fig. 3 Frequency distribution of vitrinite reflectance and simulating temperature during the peak stage of different products

在不同源岩氯仿沥青“A”、热解液态烃和“原质油”的产率最高峰阶段时,其镜质体反射率 $R_o$ 值和加热温度都相差很大。按照源岩各种产物的产率高峰阶段时,镜质体反射率和加热温度间的关系,可以将源岩划分为不同的组。以氯仿沥青“A”产率高峰,源岩可分为两组,第一组镜质体反射率分布在0.5%—0.8%,加热温度在300—350°C,包括有蒲县藻烛煤、乌苏碳质泥岩、金锁褐煤以及巴14井灰岩,它们的产率高峰期的温度和镜质体反射率都较低;第二组镜质体反射率为1.0%—1.3%,加热温度在350—400°C,包括有茂名油页岩、泌阳80井泥岩、冀中29井泥岩、黄县褐煤、长兴残殖煤和乌苏褐煤等,它们的产率高峰期的温度和镜质体反射率都较高。以热解液态烃产率高峰期阶段,源岩可分为三组,第一组是加热温度为300°C, $R_o$ 值为0.57%,有杜611井泥岩;第二组是加热温度为350—400°C, $R_o$ 值为1.0%—1.2%,包括有冀中安29井泥岩、乌苏碳质泥岩、环14井灰岩和巴4井灰岩等;第三组是加热温度为400—450°C, $R_o$ 为1.3%—1.75%,包括蒲县藻烛煤、泌阳80井泥岩、黄县褐煤、金锁褐煤和乌苏褐煤等。以原质油产率高峰期的分布,源岩也可分为三组,第一组镜质体反射率为0.5%—0.6%,加热温度为300—350°C,包括有松辽盆地泥岩、蒲县藻烛煤、巴14井泥岩;第二组镜质体反射率为1.0%—1.3%,加热温度为350°C,包括有长兴残殖煤、泌阳80井泥岩和环14井灰岩;第三组镜质体反射率为1.1%—1.6%,加热温度为400—450°C,包括有茂名油页岩、乌苏褐煤、黄县褐煤、冀中安29井泥岩以及乌苏碳质泥岩等(图4)。

产率高峰期的镜质体反射率,氯仿沥青“A”产率在低温阶段时,碳质泥岩高于泥岩和藻质煤,中低温阶段时,残殖煤高于咸水泥岩、油页岩;热解液态烃在中高温时,I型或II型有机质高于III型有机质,原质油产率高峰期的镜质体反射率,中低温时腐殖煤高于泥岩,中高温时油页岩高于泥岩和碳质泥岩,镜质体反射率最低的是褐煤。因此,油气形成各阶段所对应的镜质体反射率值具有多变性。例如,在图4C中,油页岩和具有I型有机质的褐煤,其原质油产率高峰期的镜质体反射率最高,其次是泥岩、腐殖煤、鄂尔多斯藻灰岩,再低的是碳质泥岩、咸水泥岩、褐煤,镜质体反射率最低的是藻煤和淡水湖相泥岩,以及塔里木盆地灰岩。灰岩原质油形成的温度阶段低,但镜质体反射率相差很大。



A. 氟仿沥青“A” B. 热解液态烃 C. 原质油 (A+B)

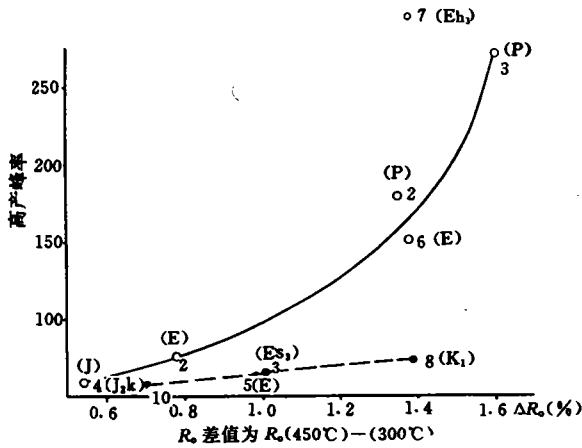
岩样号: 1—11 同图—1 12. 环14井灰岩 13. 塔里木巴4井灰岩

图4. 源岩各类生成物产率高峰阶段的镜质体反射率和加热温度分析

Fig. 4 Distribution of vitrinite reflectance and heat temperature during the peak stage of different kinds of source rocks' products

不同源岩“原质油”的产率相差极大, 乌苏碳质泥岩和冀中29井泥岩、金锁褐煤、乌苏褐煤和黄县褐煤的热演化中“原质油”产率较低, 其产率高峰期时的产率只有50—70 kg/tC<sub>org</sub>。茂名油页岩和泌阳80井的泥岩“原质油”产率较高, 可分别高达151 kg/tC<sub>org</sub>和297kg/tC<sub>org</sub>, 蒲县燧藻煤、长兴残殖煤的“原质油”的高峰产率也较高, 可达180—270 kg/tC<sub>org</sub>。可见, 藻煤和残殖煤的液态烃产率比褐煤高。

研究中还发现, 在热演化中源岩组分镜质体反射率变化的幅度与原质油产率的大小有关, 在热演化中镜质体反射率变化幅度越大的样品, 其原质油的产率也越大(图5)。煤类和油页岩与泥岩类之间显示出明显的区别, 泥岩类的高峰产率低于煤类, 形成两条斜率的曲线。比较特殊的是泌阳80井泥岩, 它的高峰产率达到最高值。



注:  $\Delta R_v$  为  $R_v(450^\circ\text{C}) - R_v(300^\circ\text{C})$

1—10 为样品代号, 括号内为地质时代

图5 源岩原质油最高峰产率与等温阶段镜质体反射率差值相关图

Fig. 5 Correlation of the peak product of original oils from source rocks and different vitrinite reflectance values within the same temperature stage

## 4 结论

1) 不同类型的源岩在相同的热模拟温度作用下, 所形成的镜质体反射率值有很大的差别。因此, 在用  $R_v$  值确定成岩作用过程和有机质热演化成熟阶段时应该考虑源岩类型的影响。

2) 不同类型源岩有机质在热模拟演化过程中, 氟仿沥青“A”和热解液态烃高峰产率



期出现的模拟温度阶段也存在明显的差异。所在,在油气资源评价和勘探布署时,对于源岩油气形成量的评价需要考虑源岩性质和有机质类型等的重要影响。

### 参 考 文 献

- [1] Tissot B P, Welte D H. Petroleum Formation and Occurrence, Springer—Verlag Berlin Heidelberg. New York, 1978, 69—73.
- [2] 傅家谟, 刘德汉, 盛国英. 煤成烃地球化学. 北京: 科学出版社, 1990, 32—35.
- [3] 周中毅, 潘长春. 沉积盆地古地温测定方法及其应用. 广东科技出版社, 1992, 1—33.
- [4] 汪本善, 程克明, 马万怡. 油气运移研究——泌阳盆地剖析. 北京: 石油工业出版社, 1994, 126—127.

## Thermally Simulating Study on the Vitrinite Reflectance and the Evolution of Organic Materials from Various Source Rocks

Zheng Guodong<sup>1</sup> Luo Binjie<sup>1</sup> Cheng Keming<sup>2</sup> Duan Yi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

<sup>2</sup> (Research Institute of Petroleum Exploration and Development, China National Petroleum Corporation, Beijing 100083)

### Abstract

This paper studies different kinds of source rocks including coals, carbonaceous mudstones, oil—shale, argillites and limestones collected throughout China and reports the important results as follows: There are great differences of vitrinite reflectance values ( $R_o\%$ ) formed under the thermal process with same simulating temperature among different kinds of source rocks. And the simulating temperature stages of high—peak production of liquid hydrocarbons produced during the thermally simulating process of organic materials from different kinds of source rocks are also apparently different. So, it is important to pay attentions to the influence of source rock properties and organic material types while vitrinite reflectance taken as an index to divide lithogenetic stages and oil—gas forming stages.

**Key words:** vitrinite reflectance thermal simulation production of liquid hydrocarbon lithogenesis stage of oil—gas formation.