

文章编号: 1000-0550(2002)01-0165-04

# 加水热模拟中深湖与煤系泥岩地化特征比较

梁春秀<sup>1,2</sup> 魏志平<sup>2</sup> 毛超林<sup>2</sup> 李本才<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>成都理工学院 成都 610059) (<sup>2</sup>吉林石油勘探开发研究院 吉林松原 138001)

**摘要** 通过深湖泥岩和煤系泥岩的加水热模拟研究认为,在热模拟实验过程中,深湖泥岩和煤系泥岩显示不同特征,并且其演化有差别。深湖泥岩利于液态原油的生成,并且转化率高于煤系泥岩。深湖泥岩残余可溶有机质饱和烃含量高于煤系泥岩,非烃含量则低于煤系泥岩。深湖泥岩胶质/沥青质和饱芳比均随温度升高而降低,而煤系泥岩的胶质/沥青质随温度升高有增加趋势,其饱芳比的变化则不大或有降低趋势。深湖泥岩的  $T_{\max}$  难以指示演化阶段,其干酪根碳同位素值明显轻于煤系泥岩,它们的值均随温度的升高而变重。

**关键词** 加水热模拟 泥岩 可溶有机质 成熟度

**第一作者简介** 梁春秀 男 1959 年出生 高级工程师 石油地质

**中图分类号** P593 **文献标识码** A

深湖泥岩和煤系泥岩形成于不同的沉积环境中,其共同的特征是在埋藏过程中随着温度升高而生成油气。但它们在生烃特征上有何异同、其演化是否同步、一些反映有机质类型、成熟度等的参数如何变化等问题很难在自然演化过程中进行细致观察。因为自然演化剖面法适合于持续沉降的纵向上生油岩沉积相变化不大或相对稳定的地区<sup>[1]</sup>,这样才能保证原始有机质性质基本一致,在剖面上也才能较真实地反映某类有机质随埋深或温度增加的变化情况。而这一条件一般难以达到,所以自然演化剖面法不能很好地反映油气演化过程的全貌,人们即把研究煤化作用的实验模拟应用到油气生成的研究过程中来,为研究有机质演化和油气生成提供了另一种有效的方法。到目前为止,人们已在生油岩和有机质(干酪根,藻类,水生动物,油,沥青,沥青质,现代孢粉等)热演化方面进行了大量的热模拟实验研究<sup>[2,3,4,5]</sup>。研究内容包括不同条件下油气生成过程的模拟、干酪根热演化特征、气态产物组成及演化特征、液态产物组成及演化特征、油气产率与成熟度的关系、干酪根及生油岩的生烃潜力、矿物对有机质演化的催化作用及对可溶有机质的吸附性、生标物的演化特征和不同类型干酪根的油气形成模式等等<sup>[6,7,8]</sup>,涉及了油气生成的各个方面。本文旨在通过加水热模拟的分析探讨湖相与煤系泥岩地化特征的演化差异。

## 1 样品与实验

本次实验采用目前较为流行的密闭容器加水热模

拟的方法。共选择了 6 个温度点:210、240、270、300、330 和 360 °C。加水量以水淹没样品为准。对气态产物、液态产物分别加以收集并计量,液态产物包括釜壁、液面、岩石颗粒表面所吸附的和岩石残渣抽提所得的所有液态产物,对液态产物进行了族组分分离。通过抽提后的残渣制备干酪根,对干酪根进行了碳同位素测定。

泥岩样品选自松辽盆地南部查 19 井的嫩江组一段深湖泥岩和双 7 井的侏罗系营城组煤系泥岩(表 1)。嫩一段泥岩有机碳(TOC)含量为 4.23%,镜质体反射率( $R_o$ )为 0.66%,热解(Rock-Eval)  $T_{\max}$  为 441 °C,干酪根碳同位素( $\delta^{13}C_k$ )为 -32.40‰,具有较高的氢指数(HI)和很低的氧指数(OI),属于 I 型有机质。营城组泥岩产自煤系地层,有机碳含量达到了 18.64%,镜质体反射率相近,为 0.65%,热解  $T_{\max}$  为 432 °C,干酪根碳同位素较低,为 -23.80‰,氢指数为 263mg/g·TOC,氧指数也很低,属于 III 型有机质。可见,两种样品的有机质成熟度基本一致。

## 2 可溶有机质含量比较

就原始样品来说,深湖泥岩中的可溶有机质绝对含量均高于煤系泥岩(表 1),前者的氯仿沥青“A”和总烃含量分别为 0.750 2% 和 0.501 1%,后者分别为 0.341 6% 和 0.122 6%,前者的氯仿沥青“A”和总烃含量分别是后者的 2.2 和 4.1 倍。深湖泥岩的沥青转化率和总烃转化率分别为 0.177 4% 和 0.118 5%,煤系泥岩的沥青转化率和总烃转化率低,分别为 0.018 3%

表1 实验样品的基本有机地球化学特征数据表

Table 1 Basic organic geochemical data of experimental samples

指标	层位	TOC/%	沥青 <sup>a</sup> A %	HC/%	S <sub>1</sub> + S <sub>2</sub> /mg·g <sup>-1</sup>	R <sub>o</sub> /%	T <sub>max</sub> /°C
查19	嫩一段	4.23	0.7502	0.5011	36.88	0.66	441
双7	营城组	18.64	0.3416	0.1226	51.33	0.65	432
指标	层位	δ <sup>13</sup> C <sub>k</sub> /‰	饱芳比	HI/mg·g <sup>-1</sup>	OI/mg·g <sup>-1</sup>	A/TOC/%	HC/TOC/%
查19	嫩一段	-32.4	3.3892	821	4	0.1774	0.1185
双7	营城组	-23.8	0.2696	263	3	0.0183	0.0066

和0.0066%,前者的相应值分别是后者的9.7和18.0倍。上述差异主要与有机质成熟度一致和有机质类型不同有关。在热模拟升温过程中,泥岩可溶有机质含量和转化率均发生变化(图1和图2)。从可溶有机质绝对含量来看,深湖泥岩温度在210°C和240°C时的可溶有机质绝对含量均低于未加热前的原始样品,煤系泥岩也有类似特征,甚至直到270°C时可溶有机质含量也还小于原始样品的可溶有机质含量。各样品的可溶有机质绝对含量在270~300°C时达到最高值,之后含量降低(图1)。就可溶有机质转化率来讲,也具有类似演化特征,同样煤系泥岩可溶有机质转化率明显低于深湖泥岩。

上述较低的加热温度下可溶有机质含量低于原始样品的情况主要是由于,原始样品中存在的可溶有机质形成于自然条件下,形成温度较低,含有较多的杂原

子化合物。当加热时,这些可溶有机质变得不稳定,部分裂解成液态原油、烃类气体及非烃气体,部分缩合成类似干酪根的高芳香度化合物称为不可溶有机质,而在较低的加热温度下,干酪根还未开始大量生成液态原油。这就导致了在较低的加热温度下,样品的可溶有机质反而低于原始未加热的样品(图1)。

从煤系泥岩可溶有机质转化率明显低于深湖泥岩的情况(图2)来看,深湖泥岩确实对于液态原油的形成非常有利,而煤系泥岩的生油能力确实比较差。对于生油岩来说,生油量越大,越容易满足生油岩的最低含油饱和度,从而也越容易排烃;而生油量越小,越难以满足生油岩的最低含油饱和度,也就越不易排油,从而在更高的温度下裂解成低分子的凝析油和轻烃。在松辽盆地深部,就有来自侏罗系煤系烃源岩的凝析油气形成的油气藏,与此有很大关系。

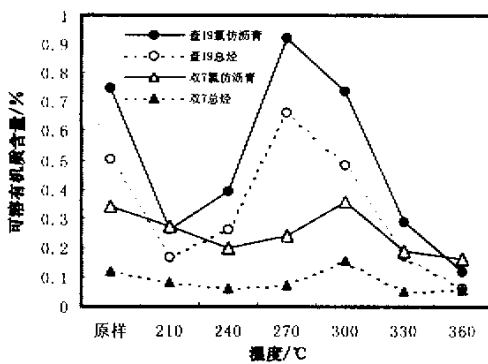


图1 样品可溶有机质绝对含量—温度关系图

Fig. 1 The relationship of temperature and the absolute content of the dissolvable organic matter

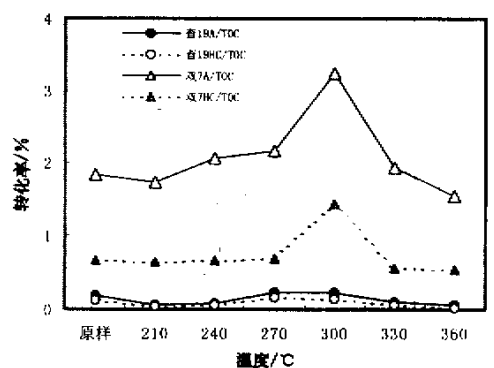


图2 样品可溶有机质转化率—温度关系图

Fig. 2 The relationship of the dissolvable organic matter yield and temperature in samples

### 3 可溶有机质组成比较

样品的可溶有机质族组成有较大差异,无论是原始样品,还是模拟后的样品均如此(图3)。湖泥岩残余可溶有机质的饱和烃含量明显高于煤系泥岩,并随温度升高而降低,明显降低阶段对应于270~330°C之间,芳香烃含量的变化则相反,在270°C以前含量低于

煤系泥岩,之后则高于煤系泥岩,煤系泥岩中芳香烃含量的变化不明显;深湖泥岩中的非烃(胶质+沥青质)含量明显低于煤系泥岩,在270°C之前变化不大,之后明显升高,煤系泥岩的非烃相对含量总体具增加趋势(图3)。上述可溶有机质相对含量的变化决定了烃类中的饱和烃和芳香烃组成与非烃中的胶质与沥青质相对组成也发生相应的变化(图4)。深湖泥岩胶质/沥

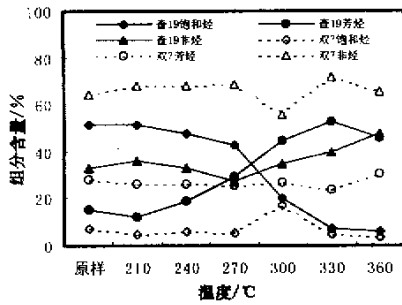


图 3 样品可溶有机质族组成比较图

Fig.3 Comparison of group compositions of dissolvable organic matter in samples

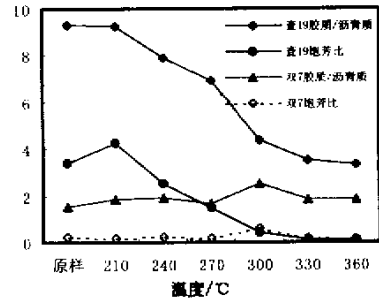


图 4 可溶有机质组分组成比较图

Fig.4 Comparison of compositions of dissolvable organic matter in samples

青质和饱和芳比均随温度升高而降低,而煤系泥岩的胶质/沥青质随温度升高有增加趋势,其饱和芳比的变化则不大或有降低趋势(图4)。可见,深湖泥岩与煤系泥岩的可溶有机质族组成差别明显,组分的相对组成随温度的变化趋势有显著不同。

#### 4 成熟度与干酪根碳同位素参数比较

烃源岩的成熟度参数有很多,但最重要的还是  $R_o$ 。对于泥岩来说,热解  $T_{max}$  也是重要成熟度参数之一,其他参数主要作为辅助。模拟样品的成熟度参数随温度的变化情况如图5所示。可见,240 °C 以前,两种泥岩的  $R_o$  基本一致,此时,有机质未大量生烃,此温度之后,泥岩  $R_o$  高于煤系泥岩,二者的  $R_o$  差值随温度升高而增加,到 500 °C 时相差达 0.3%,到 560 °C 时差值更是达到了 0.6% 以上。由于两种样品的原始成熟度基本一致,所以,相同温度时应基本对应于相同的演化阶段。上述  $R_o$  的差别说明,不同类型有机质在相同演化阶段对应的  $R_o$  是不同的,两种样品的相

同  $R_o$ 。并不能说明它们处于相同的演化阶段,即类型差别大的烃源岩的  $R_o$  在演化阶段上不具对比性。两种样品的热解  $T_{max}$  差别完全不同,煤系泥岩的  $T_{max}$  随温度升高而有规律地增加,显示了与有机质演化阶段具有良好的对应关系,是指示有机质演化阶段的较好指标,而深湖泥岩的  $T_{max}$  随温度升高未显示明显的变化趋势,而是基本在 437~442 °C 之间变化,变化范围很窄,高温 330 °C 和 360 °C 的  $T_{max}$  分别为 439 °C 和 437 °C,比原始样品的  $T_{max}$  (441 °C) 还低。可见,湖相腐泥型泥岩的  $T_{max}$  基本不能表示有机质的演化阶段,这与许多湖相腐泥型泥岩所测的  $T_{max}$  偏低的情况一致,碳酸盐岩也存在类似情况。由上述可见,两种泥岩的  $R_o$  可以表示演化阶段,只不过数值上有差别,而深湖泥岩的  $T_{max}$  基本不能表示演化阶段,煤系泥岩的  $T_{max}$  可以表示演化阶段。

两种泥岩的干酪根碳同位素值与温度的关系见图5。图中显示,深湖泥岩干酪根碳同位素值明显轻于煤系泥岩,它们总的变化趋势均是不断变重。但煤系泥

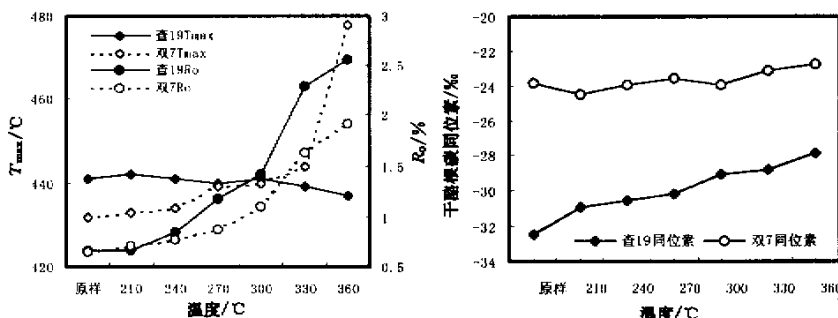


图 5 模拟样品成熟度参数与干酪根碳同位素值随温度变化图

Fig.5 Variation of maturity parameter of samples and isotope carbon of kerogen with temperature

岩干酪根碳同位素值变化幅度小,最大幅度仅 1.8‰;深湖泥岩干酪根的碳同位素值变化幅度大得多,最大幅度达 4.5‰。可见,有机质类型好的干酪根的碳同位素在有机质演化过程中变化明显,类型差的干酪根的碳同位素则变化幅度小。一般认为,在油气生成过程中,干酪根的碳同位素变化不大,在确定干酪根尤其是高过成熟干酪根时,是一非常好的类型指标。但由上述可见,在利用这一指标时,还是应慎重对待,尤其对于原始类型好的干酪根更应如此。也就是说,在确定高过成熟的干酪根类型时,应综合考虑各种指标,仅依据单一指标是危险的。

## 5 结论

根据上述分析可以认为,在热模拟实验过程中,深湖泥岩和煤系泥岩的许多地化特征有差别。深湖泥岩对于液态原油的形成非常有利,具有比较高的转化率,而煤系泥岩的生油能力差,总烃转化率低。深湖泥岩残余可溶有机质的饱和烃含量明显高于煤系泥岩,非烃含量明显低于煤系泥岩。深湖泥岩胶质/沥青质和饱芳比均随温度升高而降低,而煤系泥岩的胶质/沥青质随温度升高有增加趋势,其饱芳比的变化则不大或有降低趋势。深湖和煤系泥岩的  $R_o$  可以表示演化阶

段,但数值上有差别;深湖泥岩的  $T_{max}$  难以指示演化阶段,煤系泥岩的  $T_{max}$  可以较好指示演化阶段。深湖泥岩干酪根碳同位素值明显轻于煤系泥岩,它们的值均随温度不断增重。

## 参 考 文 献

- 1 高岗,郝石生,柳广弟等.碳酸盐岩油气生成模拟方法[M].北京:石油工业出版社,2000
- 2 张文正,关德师著.液态烃分子系列碳同位素地球化学[M].北京:石油工业出版社,1997
- 3 高岗.富硫泥灰岩油气生成模拟研究[J].石油大学学报,2000,24(1):34~37
- 4 王新洲,宋一淘,王学军.石油成因与排油物理模拟—方法、机理即应用[M].山东东营:石油大学出版社,1996
- 5 Lewan M D., Winters A, Williams J. Generation of oil-like pyrolyzates from organic-rich mudstones[J]. Science, 1979, 203: 897~899
- 6 Rowland S J. Hydrous pyrolysis of sediments composition and proportions of aromatic hydrocarbons in pyrolysates[J]. Advances in Organic Geochemistry, 1985, 10: 1033~1040
- 7 石卫,郭绍辉,秦匡宗.烃源岩在水介质下热压模拟的初步研究[A].第五届全国有机地球化学会议论文集[C].南京:江苏科学出版社,1994.381~386
- 8 夏新宇,张文正.热压模拟实验的动力学研究及意义[J].石油勘探与开发,2000,27(5):22~26

## Comparison of Geochemistry Character between Mudstones from Deep Lacustrine Facies and Coal Measures by Hydrous Pyrolysis

LIANG Chun-xiu<sup>1</sup> WEI Zhi-ping<sup>2</sup> MAO Chao-lin<sup>2</sup> LI Ben-cai<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Chengdu Science and Engineering University, Chengdu 610059)

<sup>2</sup> Jilin Petroleum Exploration and Development Institute, SongYuan, Jilin 138001)

**Abstract** The geochemistry characters are discussed which between mudstones from deep lacustrine facies and coal measured by hydrous pyrolysis. Lots of differences of the two samples are pointed out by analysis. The mudstones from deep lacustrine facies and coal measure show difficult evolution features by hydrous pyrolysis. The mudstone from deep lacustrine facies has high hydrocarbon yield and is more profitable to liquid oil generation, so it will mainly generate liquid oil in the course of thermal evolution. The saturated hydrocarbon content is more and the nonhydrocarbon content is lower in the residual dissoluble organic matter in the mudstone from deep lacustrine facies than that in coal measures. The ratio of resin to asphaltene and the ratio of saturated hydrocarbon to aromatics increase when the temperature rises in the mudstone from deep lacustrine facies. The ratio of resin to asphaltene increases and the ratio of saturated hydrocarbon to aromatics varies little or decreases a little when the temperature rises in the mudstone from coal measures.  $T_{max}$  of the pyrolyzed(Rock-Eval) mudstones from deep lacustrine facies can not indicate evolution stage, but  $T_{max}$  of the pyrolyzed(Rock-Eval) mudstones from the mudstone from coal measures increases as the temperature rises. The carbon isotope of kerogen from the mudstone from deep lacustrine facies is lower distinctly than that of kerogen from mudstone of coal measures. The carbon isotope of kerogen from two samples becomes heavy as the temperature rises. It is obvious that the  $T_{max}$  of the mudstone from deep lacustrine facies should be considered carefully when it is used to reckon the maturity of organic matter and that the variation of isotope carbon of kerogen should also be thought much when it is used to research the type of organic matter.

**Key words** hydroupyrolysis, mudstone, dissoluble organic matter, maturity