

文章编号:1000-0550(2004)04-0711-07

# 干酪根中类脂肪链含量的测定及石油地质意义

张学军<sup>1,2</sup> 严晓虎<sup>2</sup> 李佩珍<sup>1</sup> 苗得玉<sup>1</sup> 胡文<sup>2</sup> 刘庆<sup>1</sup>

1(胜利油田地质科学研究所 山东东营 257015)2(南京大学 南京 210093)

**摘要** 选取了红外光谱中  $2\ 750\sim 3\ 000\text{ cm}^{-1}$  C—H 振动峰面积作为反映干酪根中脂肪链含量的特征参数,并以完全饱和脂肪链的微晶石蜡为基准,建立了对干酪根中脂肪链含量进行测定的实验方法,同时讨论了实验条件、无机矿物、干酪根样品加入量等因素的影响。并通过对东营地区不同类型干酪根的低熟烃源岩样品进行的高压热模拟实验,研究了干酪根中脂肪链的百分含量与成熟度、沥青转化率及干酪根元素组成之间的关系。结果表明干酪根中脂肪链含量不仅与干酪根的类型有关,而且随成熟作用增加明显降低,其与热模拟生油量的关系和烃源岩的产烃率曲线相似,在脂肪链含量由 15% 降至 5% 时出现一个生油高峰。所以,脂肪链百分含量这一参数有可能成为烃源岩的判别及评价的一个新的重要指标。

**关键词** 干酪根 定量 FT—IR 热模拟 脂肪链百分含量 烃源岩

**第一作者简介** 张学军 男 1968 年出生 工程师 硕士研究生 石油地质与勘探

**中图分类号** P593 **文献标识码** A

## 1 引言

干酪根作为油气生成的主要母质是一种化学结构十分复杂的有机质,许多学者通过实验分析先后提出了干酪根的不同结构模型<sup>[1,2]</sup>,一般认为干酪根主要由脂族、芳族和杂原子官能团等构成。根据干酪根的热演化理论,干酪根在温度和压力的作用下,脂肪链的一部分从干酪根母体上脱落,成为油气的来源,另一部分脱氢后变成稠环化合物<sup>[3,4]</sup>。所以,干酪根中脂肪链含量应与烃源岩的油气生成能力有关,而受到人们的关注。

红外光谱分析是较早用于干酪根结构分析的方法之一<sup>[5]</sup>,但由于早期仪器测定精确度的限制,干酪根结构的复杂性、无机矿物的干扰引起的谱带叠加等困难,所以红外光谱的定量分析问题 Landais 和 Rochdi<sup>[6]</sup>虽进行过研究,但该方法二十几年来一直处于定性和半定量分析阶段<sup>[7,8]</sup>,其石油地质应用也仅限于判断干酪根中官能团的存在以及利用其相对含量判断干酪根类型。

近十几年来,FT—IR 参数在石油地质中的应用倍受人们重视,许多石油地质工作者采用了大量的红外光谱参数来表征干酪根的结构性质及演化过

程<sup>[9~15]</sup>。Ganz 和 Kalreuth<sup>[16]</sup>利用若干谱带强度的比值定义了 A 因子和 C 因子,并提出了利用 A—C 因子图来表征干酪根类型和成熟度的方法;Kister 等<sup>[17]</sup>提出了一套谱带比值参数来表征干酪根的天然演化;黄第藩等<sup>[18]</sup>提出了利用  $1460\text{ cm}^{-1}$ 、 $1\ 700\text{ cm}^{-1}$  和  $1\ 600\text{ cm}^{-1}$  处振动峰强度相对百分数组成三角图表示不同类型干酪根的演化路径。这些比值法在实际应用中能消除或减少实验条件不同所带来的分析误差,从不同角度反映了干酪根类型和成熟演化过程,有一定的实用价值。但这些方法或指标不同程度地存在诸如定义参数的物理意义不明确,难以与干酪根中的某一结构直接联系,某些干酪根中的特征谱带不出现,及谱带干扰等,限制了其适用范围。

作者从干酪根热演化生油理论出发,利用 FT—IR 光谱的快速、高分辨、良好的重复性及数字化等优势,选择了红外光谱中  $2\ 750\sim 3\ 000\text{ cm}^{-1}$  C—H 振动峰面积作为反映干酪根中脂肪链含量的特征参数,并以含脂肪链 100% 的微晶石蜡作为标准物质,建立了对干酪根中脂肪链含量定量测定的实验方法,结合对东营地区不同类型干酪根的低熟烃源岩样品进行的高压热模拟样品的分析测定,结果表明干酪根中脂肪链含量与热模拟实验样品的干酪根类型、成熟度和产

烃率之间有着密切的相关性。

## 2 脂肪链含量的测定方法

### 2.1 基本原理与方法

红外吸收光谱的吸光度在低浓度时符合 Lambert-Beer 定律,即吸光度与浓度成正比。在定量分析中,采用谱带吸收的极大位置来测定吸光度,采用基线法扣除散射和反射的能量损失及其他组分的干扰,一般具有较好的重复性。

### 2.2 特征峰的选择及意义

典型的干酪根红外光谱如图 1 所示,在  $2\ 750 \sim 3\ 000\ \text{cm}^{-1}$ 、 $1\ 460\ \text{cm}^{-1}$ 、 $1\ 380\ \text{cm}^{-1}$  处均出现了较强的  $\text{CH}$ 、 $\text{CH}_2$ 、 $\text{CH}_3$  振动吸收峰,特别是  $2\ 750 \sim 3\ 000\ \text{cm}^{-1}$  处伸缩振动峰,吸收强度大,无其它振动峰重叠,可以避免干酪根中无机矿物的干扰,因此有可能利用该振动谱带进行定量分析。但由于干酪根结构的复杂性,样品中分子链 C—H 所处化学环境差异较大,如果采用某一固定吸收峰的吸光度定量,会产生较大误差,难以准确反映其中的脂肪链含量。因此在定量计算中以  $2\ 750 \sim 3\ 000\ \text{cm}^{-1}$  处吸收峰的峰面积,作为干酪根中脂肪链振动模式的全部吸收能量。

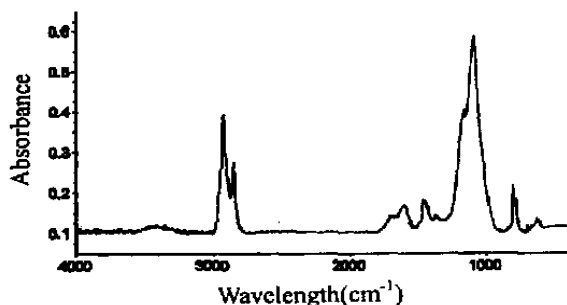


图 1 典型干酪根样品的红外光谱

Fig. 1 FT-IR spectra of typical kerogen sample

干酪根红外光谱在  $2\ 750 \sim 3\ 000\ \text{cm}^{-1}$  峰包括了  $\text{CH}_2$  (链)、 $\text{CH}_2$  (环)、 $\text{CH}_3$  (支)、 $\text{CH}_3$  (端)、 $\text{CH}$  等结构的各种振动,但这些基团在有机质不同的演化阶段多会断裂成烃,与干酪根的成烃直接有关,在本研究中没有予以区分。因此,用该方法进行的脂肪链定量并非某种基团的绝对百分含量,而是指干酪根中与成烃能力有关的一类基团的含量。

### 2.3 定量方法

在定量计算中的另一个需要考虑的问题是基线如何确定,基线划定是否合理将对结果产生很大影

响。如图 2 所示,脂肪链 C—H 伸缩振动在  $2\ 750 \sim 3\ 000\ \text{cm}^{-1}$  间由两组峰组成,如采用通常的对重叠峰的划分法来确定基线 (AB 或 AC),则人为因素影响较大。如采用计算机辅助分峰虽较能客观体现定量分析的准确性,但无法避免数学上的多解问题,即不同的初值会得到不同的结果,同样会引入不确定性。前面已经讨论可以把整个特征谱带统一考虑,则基线的确定就较为容易和确定,如图中的 AD 直线。

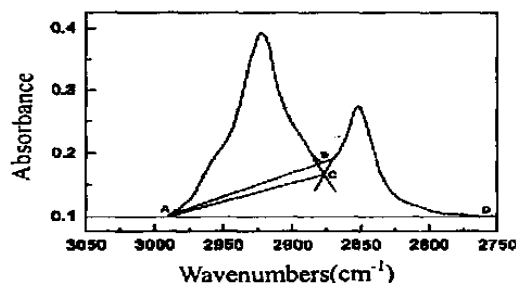


图 2 干酪根红外光谱重叠峰的基线划分法

Fig. 2 The determination of the overlap peaks baseline in FT-IR spectra of kerogen

为使测定的脂肪链含量具有绝对量的物理意义,使得在不同仪器、不同样品间的测定结果可以进行直接比较,这里选取了完全由脂肪链组成的微晶石蜡作为标准物质,该样品的红外光谱图如图 3 所示。由于石蜡分子链中  $-\text{CH}_2-$ 、 $-\text{CH}_3$  所处的化学环境基本相同,其吸收峰 ( $2\ 920$ 、 $2\ 860\ \text{cm}^{-1}$ ) 稳定且尖锐,以此计算出单位石蜡 (脂肪链) 的吸收峰面积。只要将干酪根样品在该调整谱带的吸收峰面积与此相比,即可得到干酪根样品的脂肪链百分含量,具体可由下式计算:

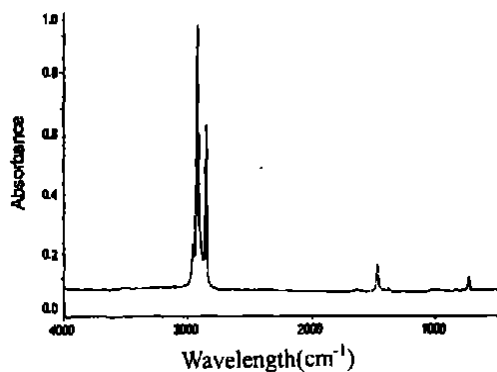


图 3 石蜡的红外光谱

Fig. 3 FT-IR spectra of paraffin

$$P \% = \frac{A}{kWL} \times 100$$

其中  $P$  为干酪根中脂肪链的百分含量,  $A$  为样品特征吸收峰的面积,  $k$  为单位质量石蜡的特征吸收峰面积,  $W$  为干酪根样品的质量,  $L$  为干酪根的烧失量。

### 2.4 实验条件

仪器:美国 NICOLET 公司 170 - SX 型红外光谱仪,感量为 0.01 mg 的全自动半微量天平。

制样:用感量 0.01 mg 的全自动半微量电子分析天平称取一定量干酪根样品 (<3 mg),加入 250 mg KBr,在玛瑙研钵中研磨至粒度不再变化为止,放入干燥器中干燥 48 小时以上,取出后在红外灯下进一步除去水分,然后立即在 10 吨的压力下压片。

扫谱:制好的 KBr 片要立即在傅立叶红外光谱仪上进行扫描,扫描时红外光束透过的光圈固定在 0.06cm,先扫空白片再扫样品,所得图谱转换成吸收谱经基线校正后,在  $3\ 000 \sim 2\ 750\ \text{cm}^{-1}$  范围内积分,得到峰面积  $A$ 。

干酪根纯度(烧失量)测定:由于干酪根处理过程中很难把所有矿物全部除去,为了得到纯干酪根的吸收谱,首先要进行干酪根纯度  $L$  的测定,测定方法按 SY5123/T-1996 进行。这样即可求得单位质量的干酪根吸收峰面积。

为了确保样品测试具有良好的重复性,在制片和扫描时必须做到:样品与 KBr 研磨的细度要达到样品图谱不受研磨次数的影响;KBr 的质量固定,制片的

大小、压力相同;测试时光圈孔径固定;制片时样品量在 3.5 mg 以下几点,这样即可得到满意的图谱。

### 2.5 结果与讨论

考察实验结果的可靠性与重复性是定量分析的基础。图 4 是对不同浓度的石蜡样品进行的重复性测定结果,可以看到在样品浓度较低的情况下,吸收峰面积与样品量之间有着良好的线性关系。即在不同的浓度下测定出的脂肪链百分含量是相同的。但在样品量较高时(或脂肪链的量较多时),实验点偏离直线,向下弯曲,表明较高浓度时其响应与浓度之间的关系不再遵从 Lambert-Beer 定律。另外,由于干酪根中不可避免地存在无机矿物,其对实验结果的影响程度也必须进行考虑。首先,在石蜡的制样过程中加入了  $\text{SiO}_2$ (图 4 中所标出的两点),对脂肪链特征吸收峰面积没有影响。

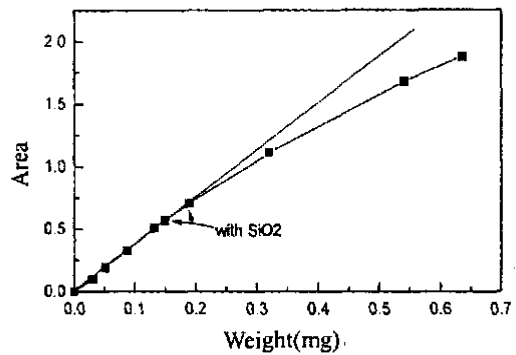


图 4 石蜡吸收峰面积与加入样品量的关系  
Fig. 4 The relationship between area of absorption peak and the weight of paraffin

表 1 加入杂质后干酪根脂肪链含量测定数据表

Table 1 The effect of impurity to the contents of aliphatic in kerogen

编号	类型	样品 质量/mg	杂质 质量/mg	峰面积	扣杂后峰 面积	扣杂后 A/W	测定脂肪 链/%	原测脂肪 链/%	偏差
91 Y288-Lo-A		2.15	2.56	47.8	34.74	16.16	14.005	13.6	3%
91 Y288-Lo-B		2.14	2.95	46.97	31.91	14.91	12.4	13.6	-10%
91 Y292-A		2.04	0.53	41.41	40.37	19.79	20.9	20.0	4%
91 Y292-B		2.12	0.45	43.89	43.81	20.67	21.8	20.0	8%
91 Y292-C		1.99	0.52	42.04	40.76	20.48	21.6	20.0	8%
91 Y292-Lo-A		2.28	2.50	55.25	42.49	18.64	19.7	20.0	-2%
91 Y292-Lo-B		2.05	2.83	49.10	34.66	16.91	17.8	20.0	-12%
95 Y6-A		2.21	0.53	58.96	57.90	26.20	22.8	25.1	-9%
95 Y6-B		2.22	2.51	57.08	56.65	25.52	22.2	25.1	-13%
95 Y6-Lo-A		2.08	2.48	61.67	49.01	23.56	20.5	25.1	-23%
杂质 A		3.87		7.58					
杂质 B		3.91		0.68					
杂质 C		4.06		10.00					

\*杂质 A 为含碳酸盐岩为主, TOC3.0%; 杂质 B 以硅质为主, TOC0.1%; 杂质 C 以粘土矿物为主, TOC2.0%; 杂质 Lo 为石蜡与 KBr 按 0.03734:1.01733 的混合物。

为与实际的实验条件相一致,在干酪根样品中分别定量加入不同岩性的岩石粉末及石蜡,测定结果如表 1 所示。以上实验数据可以看出外加岩石样品对测定结果产生的误差一般小于 10%,考虑实验中的其它影响因素,可以认为无机矿物对测定结果基本没有影响。部分样品产生较大的负偏差,其原因可能是加入的岩样量较多,已超过干酪根样品的加入量,对实际的干酪根样品则几乎不存在这种可能,所以其影响可以忽略。结果表明该实验方法具有较高的灵敏度、较好的重复性和可靠性,对样品纯度要求较低等,但实验时要控制样品的加入量。

### 3 脂肪链含量与类型、成熟度和沥青转化率的关系

#### 3.1 热模拟样品的脂肪链含量

##### 3.1.1 样品的热模拟实验

干酪根降解形成油气的过程是十分复杂的,人们

已对自然演化烃源岩的演化过程已有所了解,但很难找到一个理想的剖面来获取资源评价用的定量参数。对不成熟或较低成熟度的烃源岩进行人工演化热模拟,能获得与自然演化较为一致的规律<sup>[19]</sup>,这也是石油地质学家确定评价参数时最常用的方法之一。本实验选取了胜利油田不同干酪根类型的低熟烃源岩样品进行热模拟,为了使热模拟实验的结果最大限度的接近自然演化规律,本实验将岩石样品经粉碎后直接在高压釜中进行热模拟。升温前将釜内抽真空,然后充入 He 气保护,模拟压力在 35MPa 左右,模拟温度分 280、300、380、480、600 5 个温度段,模拟时间 280 ~ 480 为每个温度段恒温 24 小时,600 为 144 小时。

##### 3.1.2 热模拟实验结果

对热模拟样品的不同模拟阶段生成的气态烃类产物进行定量分析,模拟残渣分别进行氯仿“*A*”抽提、干酪根处理、镜质体反射率测定等地化分析,并

表 2 烃源岩样品热模拟产物地化分析数据表

Table 2 Geochemical analysis data of the simulated samples

样品名	模拟温度	生气量	氯仿	$R_o$ / %	干酪根纯度	脂肪链含量	干酪根类型
	/	/ ml	A/ %		/ % *	/ % *	
利 14	原样			0.33	80.55	21.66	
利 14-A	280	71	0.3256	0.40	76.10	18.23	
利 14-B	300	35	0.8613	0.44	57.14	10.87	
利 14-C	380	181	1.3914	0.66	75.88	8.82	
纯 11	原样			0.32	76.89	20.17	
纯 11-A	280	95	0.1633	0.34	72.37	20.18	
纯 11-B	300	16	0.1476	0.43	77.50	22.25	
纯 11-C	380	151	0.1921	0.76		9.07	
纯 11-E	480	108	0.0656	1.54	36.83	0.13	
纯 11-F	600	1208	0.0084	2.68	77.27	0.00	
草 13-15	原样			0.32	72.62	16.02	1
草 3-15-A	280	117	0.2264	0.45		13.17	
草 13-15-B	300	18	0.2446	0.52	80.95	13.10	
草 13-15-C	380	152	0.4118	0.70	44.71	9.95	
草 13-15-E	480	42	0.0271	1.58	44.70	0.58	
草 13-15-F	600	680	0.0124	3.20	35.55	0.00	
营 10	原样			0.48	89.88	5.30	2
营 10-A	280	190	0.0620	0.54	78.35	3.82	
营 10-B	300	60	0.0367	0.64	86.97	3.08	
营 10-C	380	118	0.0336	0.92	89.25	2.14	
营 10-E	480	54	0.0116	1.94	39.83	0.48	
营 10-F	600	370	0.0115	3.33	51.00	0.16	
孤南 31-A	280	11	3.7748	0.89	51.75	4.57	
孤南 31-B	300	4	3.8945	0.93	81.20	4.49	
孤南 31-C	380	121	1.9489	1.31	53.45	4.32	
孤南 31-E	480	161	0.5974	1.68	53.48	0.00	

\*由南京大学化学化工学院测定,其余项目由胜利石油管理局地质科学研究院石油地质测试中心测定。

利用 FT-IR 对所得干酪根样品进行脂肪链含量的测定。样品的热模拟及脂肪链百分含量的分析结果如表 2。

### 3.1.3 热模拟样品干酪根脂肪链含量类型、成熟度、沥青转化率及干酪根原素组成的关系

表 2 分析结果表明, I 型干酪根在低熟时脂肪链含量较高,可达 20% 左右, II 型和 III 型含量较低,在 5% 以下。但所有样品热模拟过程中在  $3000 \sim 2750 \text{ cm}^{-1}$  的特征吸收峰随温度升高而明显减小。在脂肪链含量与成熟度、氯仿“A”生成量关系图中(图 5),尽管不同类型样品的原始脂肪链含量不同,演化轨迹有所差异不同,但随温度升高脂肪链含量均逐渐降低,当镜质体反射率达到 1.5% 时,干酪根中的脂肪链已几乎完全降解,含量趋于零,干酪根类型之间的差别消失。在脂肪链百分含量与沥青转化率的关系图中,脂肪链含量在 15% 以上时,沥青转化率较低;脂肪链含量由 15% 降至 5% 区间内,沥青转化率出现一个高峰。脂肪链含量 < 5% 时,干酪根的生油能力已很弱。可见干酪根脂肪链百分含量能较有效的反映其生烃潜力。

热模拟样品的脂肪链含量与 H/C 原子比之间的相关性非常好(图 6),说明脂肪链含量这一参数与原素组成类似,能够反映干酪根中的结构及生烃潜力。并且脂肪链含量代表的是其中的一种与成烃化学结构,其反映成烃能力的意义比原素组成更直观。

### 3.2 自然演化烃源岩中脂肪链百分含量与镜质体反射率及氯仿抽提物之间的关系

热模拟样品的演化由于是用同一样品进行的,其

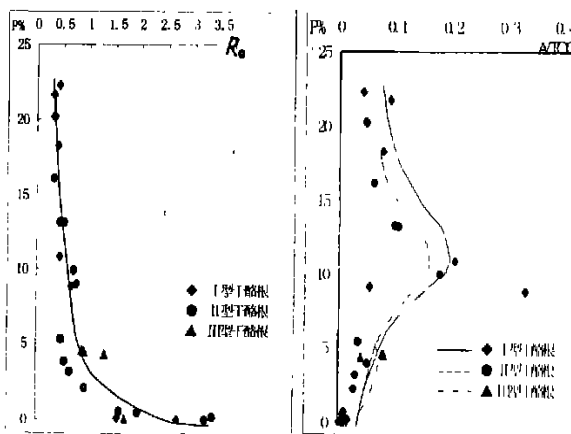


图 5 热模拟样品脂肪链含量与镜质体反射率及沥青转化率的关系

Fig 5 The relationship between aliphatic content and  $R_o$ , % TOC ratio of experimental simulation samples

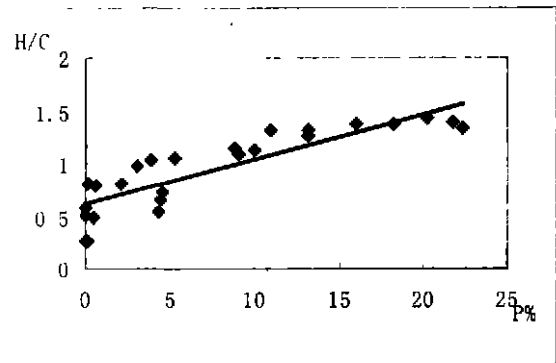


图 6 热模拟干酪根脂肪链百分含量与 H/C 关系图

Fig. 6 The relationship between aliphatic contents and H/C of the simulated samples

规律性往往较自然演化剖面为好。为了确定自然演化样品中脂肪链含量的变化情况,我们选取了胜利油区不同类型、成熟度的干酪根样品进行了脂肪链百分含量的测定。它与镜质体反射率和沥青转化率的关系如图 7 所示。由图可见,自然演化剖面与热模拟系列的演化规律非常一致。对低成熟样品 ( $R_o < 0.5\%$ ),其脂肪链百分含量主要取决于它的来源,即主要与干酪根的类型有关。当样品进入生烃高峰期后 ( $R_o > 0.8\%$ ),各类型干酪根的脂肪链含量都迅速降低,直至于零。干酪根脂肪链百分含量与烃转化率的关系,变化规律与热模拟样品基本相似,但其生烃高峰期有一定差异,热模拟样品的生油高峰期,脂肪链含量在 5% ~ 15% 间,而自然演化样品的生油高峰则在 15% ~ 25% 间。且自然演化样品不同类型干酪根的演化规律也有明显区别, I 型干酪根生烃高峰期脂肪链含量为 15% ~ 25%, II 型为 10% ~ 20%, III 型则在 5% 左右,而在热模拟样品中, I 型和 II 型干酪根的差别不大,这也反映了人工热模拟过程中有机质的演化规律与自然演化是有所不同的。

## 4 结论

(1) 通过上面的实验结果可以得出,以微晶石蜡作为标准物质来进行干酪根中脂肪链含量的测定,对样品纯度要求低,实验结果重复性好,结果与测定仪器无关,具普适性。

(2) 干酪根脂肪链百分含量反应了干酪根中脂肪链结构的多少,它与类型、成熟度以及生烃潜力有着密切的关系。在低熟条件下干酪根脂肪链百分含量能较确切的表示其类型和生烃潜力。而在干酪根类型类似的情况下,脂肪链含量可以较准确的反映有

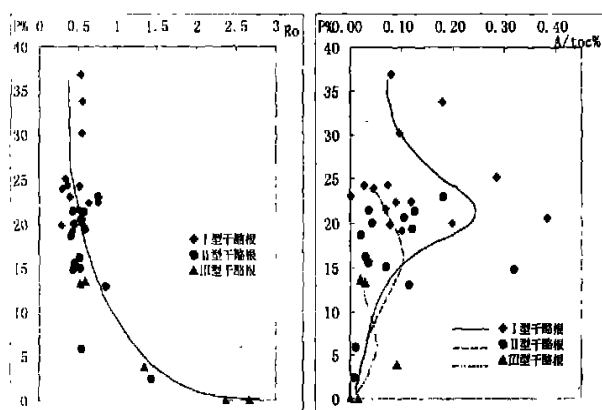


图7 自然演化干酪根脂肪链含量与镜质体反射率及沥青转化率的关系

Fig. 7 The relationship between aliphatic and  $R_o$ , "A"/TOC ratio of natural kerogen samples

机质的演化阶段。

(3) 脂肪链百分含量与有机质的生烃潜力密不可分,在自然演化条件下只有脂肪链含量大于10%,才具有较高的生油能力。

(4) 干酪根热模拟演化规律与自然条件下有所不同,人工热模拟时脂肪链更容易降解,生油高峰对脂肪链含量明显滞后。

致谢 作者非常感谢胜利石油管理局地质科学研究院张方吼、张林晔高级工程师在课题研究和论文编写过程中给予的大力支持和帮助。

#### 参考文献(References)

- Behar F and Vandenbroucke M. Chemical modelling of kerogens. *Organic Geochemistry*, 1987, 11:15~24
- Faulon J F, Vandenbroucke M, Drappier J M, *et al.* 3D Chemical model for geological macromolecules. *Organic Geochemistry*, 1990, 16: 981~993
- Jose V Ibarra, Edgar Munoz and Rafael Moliner. FTIR study of the evolution of coal structure during the coalification process. *Organic Geochemistry*, 1996, 24: 725~735
- Painter P, Sobkowiak M, Heidary S, Coleman M. Current status of FTIR in the analysis of coal structure. *Am. Chem. Soc. Div. Fuel Chem.*, 1994, 39(1): 49~53
- Roxhet P G, Robin P L, Nicaise G. Characterization of kerogens and of their evaluation by infrared spectroscopy. In: Durand B, ed. *Kerogen*,

Editions Technip-Paris, 1980. 163~189

- Landiais P and Rochdi A. Reliability of semi-quantitative data extracted from transmission microscopy Fourier transform infrared spectra of coal. *Energy & Fuels*, 1990, 4(3): 290~295
- Oberlin A, Boulmier J L, Villay M. Electron microscopy studies of kerogen micro-structure. In: Durand B, ed. *Kerogen*. 1980. 218~294
- 傅家谟,秦匡宗. 干酪根地球化学. 广州:广东科技出版社,1995 [Fu Jiamo, Qing Kuangzong. *Kerogen Geochemistry*. Guangzhou: Guangdong Science & Technology Press, 1995]
- Ganz H and Kalkreuth W. kerogen type and the evaluation of source rock and oil shale potentials. *Fuel*, 1987, 66:708~711
- Ganz H, and Kalkreuth W. The potential of infrared spectroscopy for the classification of kerogen, coal and bitum. *Wissenschaft & Technik*, 1990, 43(3): 116~117
- Landiais P, Rochdi A. Reliability of Semi-quantitative data extracted from transmission microscopy-fourier transform infrared spectra of coal. *Energy & Fuels*, 1990, 4(3):290~295
- 杜朗 B 主编. 干酪根——沉积岩中的不溶有机质. 石油实验地质编委会[Dulang B ed. *Kerogen insoluble matter in sedimentary rock*. Committee of Petroleum and Geology]
- 王宗贤,刘雁来,等. 用红外光谱表征干酪根和煤的芳碳量. 石油大学学报(自然科学版),1992,16(4):66~71 [Wang Zongxian, Liu Yanlai, *et al.*, Description of kerogen and aromaticcarbon amount using ultra red spectra. *Journal of Petroleum University (Natural Science)*, 1992,16(4):66~71]
- 蒙琪,孙启帮. 应用红外光谱法划分生油岩有机质类型. 石油实验地质,1985,7(3):193~189[Meng Qi, Sun Qibang. Classification of source rock organic matter type using ultra red spectra. *Petroleum Experimental Geology*, 1985,7(3):193~189]
- 杨志琼,章玲. 利用红外光谱剖析干酪根三类主要原子团的演化. 石油与天然气地质,1989,10(1):53~58 [Yang Zhiqiong, Zhang Ling. Analysis on the evolution of three main atomic groups in kerogen by use of ultra red spectra. *Oil & Gas Geology*, 1989,10(1):53~58]
- Ganz H, Kalkreuth W. Application of infrared spectroscopy to the classification of kerogen type and the evaluation of source rock and oil shale potentials. *Fuel*, 1987, 66: 708~711
- Kister J, Guillano M, Largeau C, Deronne S and Casadevall E. Characterization of chemical structure, degree of maturation and oil potential of torbanites (type I kerogens) by quantitative FTIR spectroscopy. *Fuel*, 1990, 69: 1356~1361
- 黄第藩,李晋超,王会祥. 在成烃作用中干酪根的结构演化图解. 科学通报, 1987,(16):1226~1229 [Huang Difan, Li Jinchao, Wang Huixiang. Figuration of structural evolution of kerogen during hydrocarbon generation. *Chinese Science Bulletin*, 1987,(16):1226~1229]
- 王新洲,宋一涛,王学军. 石油成因与排油物理模拟——方法、机理及应用. 山东东营:石油大学出版社,1996 [Wang Xinzhou, Wang Xuejun. Origin of petroleum and oil expulsion physical simulation method, mechanism and application. Dongying Shandong: Petroleum University Press, 1996]

## The Method of Determination of Aliphatic Content in Kerogen by Quantitative FT-IR and Its Petroleum Geology Significance

ZHANG Xue-jun<sup>1</sup> YAN Xiao-hu<sup>2</sup> LI Pei-zhen<sup>2</sup>

MIAO De-yu<sup>2</sup> HU Wen-huan<sup>1</sup> LIU Qing<sup>2</sup>

1( Geological Science Research Institute , Shengli Petroleum Administration , Dongying, Shandong 257015)

2( Department of Earth Science Nanjing University, Nanjing 210093)

**Abstract** A new method is developed to determine aliphatic content of kerogen using quantitative Fourier transform infrared spectra. The method uses micritic paraffin as reference standards, which consist of pure aliphatic chains. To discuss the experimental factors that may influence the result, different concentration of kerogen sample and fixed concentration of sample mixing with rock detriments or silicon mineral are analyzed respectively. The results indicate that the mixing minerals and rocks have little influence on the analytical results, in while high concentration of kerogens have much influence and should not exceed 3.5 mg when preparing the sample. So the quantitative method is reproducible, accurate and reliable.

The simulating experiment is an important method in studying the evolution of organic matter, while studying natural evolving section is another. So kerogens in simulated samples and natural evolving samples in Dongying Depression are analyzed according to our quantitative method. After comparing the aliphatic contents of kerogens with different organic matter types, maturities and potentials of hydrocarbon, the author conclude that the aliphatic content obtained by FT-IR can be a new index for evaluating hydrocarbon source rocks.

The aliphatic content is determined by kerogen type under low maturity. The aliphatic contents often are higher than 20% in type I kerogens, from 5% to 20% in type II kerogens and below 5% in type III kerogens, but with the same kerogen type the aliphatic content is determined by maturity. In low maturity the aliphatic content doesn't transform apparently, while in "oil window" the aliphatic content decrease faster and the aliphatic content will be near to naught over the "oil window".

The relationship between aliphatic content and hydrocarbon/Toc indicated that the simulating and natural samples followed a slightly different evolving path if comparing the aliphatic content with the chloroform "A".

**Key words** kerogen, quantitative FT-IR, aliphatic content, maturity, source rock experimental simulation.