

# 中国油、气源岩有机成分成因划分及地化特征<sup>①</sup>

金奎励 刘大锰 姚素平 肖贤明

(中国矿业大学北京研究生部, 中国北京 100083)

**提 要** 作者根据十余年对中国油、气源岩研究, 遵循对源岩显微、超微两个层次有机成分, 一方面使用 MPV-III、TEM、SEM、Micro-FTIR 和 SIMS 来阐明其岩石学和地化特征; 另一方面对单组分和全岩样使用小玻管高压釜方法并结合有机岩石学和地化分析来阐明成烃规律。在此基础上提出了中国油、气源岩有机质的分类方案。

**关键词** 源岩有机成分 成分地化特征 成分成烃模式

分类号 P 168. 13Q. 1

第一作者简介 金奎励 男 70岁 教授 煤田地质和煤岩学 油气有机岩石学

## 1 有机成分、成因划分

类既适用陆相源岩, 也适用于海陆交互相和纯海相源岩。另一方面也考虑到既能用于全岩, 也能用于干酪根。此外, 还兼顾用于不同成熟状况的源岩。

表 1 为中国油、气源岩有机质的分类方案。该分

表 1 中国油、气源岩有机成分分类方案

Table 1 Classification of organic components of oil-gas source rocks in China

	低成熟—高成熟		过成熟
	全 岩	干酪根	
原生形态有机质	惰性组 丝质体 半丝质体 粗粒体 菌类体 碎屑惰性体	惰性组 丝质体 半丝质体 粗粒体 菌类体 碎屑惰性体	惰性组
	镜质组 正常镜质体 富氢镜质体 碎屑镜质体	镜质组 正常镜质体 富氢镜质体 碎屑镜质体	镜质组
	壳质组 孢子体 角质体 树脂体 木栓质体 荧光体 碎屑壳质体	壳质组 孢子体 角质体 树脂体 木栓质体 荧光体 碎屑壳质体	各向异性壳质组
水生形态有机质	水生植物组 (藻类及其它) 凝源组 动物有机组 动物碎屑体 动物软体 镜状体 海相惰性体	水生植物组 (藻类及其它) 凝源组 动物有机组 动物碎屑体 动物软体 镜状体 海相惰性体	变藻类体等等 微粒体 各向异性动物碎屑体 变镜状体 海相惰性体
原生无形态有机质	沥青质体 (含晶胞有机质)		变沥青质体
次生有机质	微粒体 渗出组 (油滴、油膜、渗出体) 沥青组 原沥青 动物型沥青 藻类型沥青 运移沥青 再循环沥青 包体有机质	微粒体 沥青	微粒体 各向异性沥青
	矿物沥青基质	无定形体组	微粒体和变矿物沥青基质

① 金奎励等, 塔里木盆地古生界和中生界油源层有机岩石学研究, “八五”攻关, 101-01-04-07研究成果之一  
收稿日期: 1996-10-12

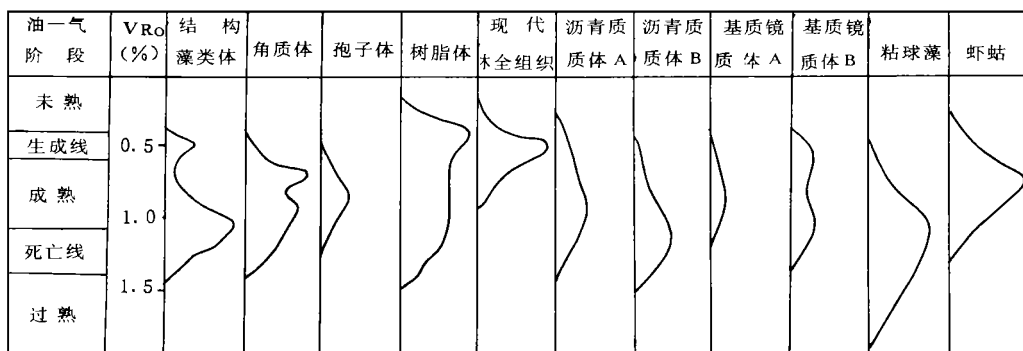


图 1 中国源岩显微组分及海生单成分的生油模式

Fig. 1 Oil-generating models of both macerals in source rocks and marine individual components

陆生形态有机质为高等植物成因的三大组分,与煤岩组分相对应。在透射电镜下据镜质体中含超微类脂体的多少可进一步分为正常镜质体和富氢镜质体两个亚类。

水生形态有机质系由水生生物形成的形态组分。藻类体可进一步分为结构藻类体和层状藻类体;凝源类为 Evitt(1963)所创,我们认为是多源生因;动物有机组常见的是由无脊椎动物外皮(壁)形成的动物碎屑体(笔石、几丁虫、虫牙、介形虫和有孔虫等),特定条件下出现软体;镜状体主要为藻及动物(如节肢动物)外皮的纤维素、多糖等凝胶化生成<sup>[1]</sup>,我们认为它不仅限于下古生界,在其它海相地层中亦有出现;海相惰性体来源于动物硬质部分,也来源于活性物质的热演化<sup>[1]</sup>。

除藻外,动物和其它类脂物质也参与沥青质体和矿物沥青基质的生成,故可分<sup>[2]</sup>为包体有机质指赋存于成岩期结晶矿物包裹体中的有机质。

根据生油成熟期及再作用方式将沥青可分原沥青、运移沥青和再循环沥青,然后按沥青形成母质类型将原沥青至少可分成藻类型沥青和动物型沥青。在 TEM 下,成熟度并不高的原沥青( $VR_o$ 为 0.64%) 在比较均一物质中出现“超小球体”,显示开始向各向异性转化<sup>[1]</sup>。

无定形体按形成和成因皆可再分。我们主张按成因划分,如镜质的、惰质的、藻质的、藻-动物质的、混质的等。在 TEM 下,干酪根无定形体中也可见矿物质吸附有机质。在塔里木盆地 QK-1 井奥陶纪干酪根无定形体中见 0.1~0.65 $\mu$ m 细菌。学者们认为细菌类脂参与成油并带来较高含蜡量<sup>[2]</sup>。另外,茂名藻质无定形体(I A)与伊蓝藻-动物质无定形

体(III)及镜质无定形体(III A)在电镜下亦是可区分的。

此外,我们对干酪根的超微结构做了划分,在 SEM 下,III 型以柱状体、条状体为主,并具部分凝块状体;II 型以凝块状体、团絮状体为主,并含柱状体和条状体;I 型主要是凝块状体、片状体、团絮状体,且随成熟度增高,粒状体增加。

## 2 有机组分热演化过程中化学成分变化规律

### 2.1 实验样品与方法

实验用自然样品主要有煤及泥岩,镜质体反射率在  $VR_o$  0.44%~0.56% 之间,并用现代栓皮栎的木栓层经降解后代替木栓质体进行热模拟。为了更好地反映水生生物对我国早古生代海相烃源岩的成烃贡献,我们选择了现代水生植物蓝藻(粘球藻)和水生动物虾蛄这两类生物进行了成烃热模拟实验,对二者的成烃贡献及成烃机理进行比较,以便于对早古生代源岩进行评价。

实验采用小玻管法,设置 6 个温度点: 250 $^{\circ}$ C, 290 $^{\circ}$ C, 320 $^{\circ}$ C, 360 $^{\circ}$ C, 400 $^{\circ}$ C, 450 $^{\circ}$ C, 每个温度点恒温 72 h,各温度点同时设置一褐煤样品以观察成熟度的变化。

热模拟后的自然样品用环氧树脂做包埋剂制作光片,然后对其中的显微组分进行光学测定和 micro-FTIR 测定;现代粘球藻及虾蛄热模拟后则用

① 金奎励等,塔里木盆地古生界和中生界油源层有机岩石学研究,“八五”攻关 101-01-04-07,1994 年。

② 金奎励等,气源岩有机成分及干酪根组分研究,“七五”攻关 54-01-01-04,1989 年。

氯仿抽提并计量可溶有机质产率,对不溶有机质(类干酪根)分别进行光学测定和 micro-FTIR分析。

## 2.2 有机组分的 micro-FTIR

**结构藻类体:**热演化过程中红外光谱最明显的变化特征是  $2950\text{ cm}^{-1}$  和  $2860\text{ cm}^{-1}$  峰位的变化,且这两个峰位在  $290^\circ\text{C}$  时达最大值,  $400^\circ\text{C}$  时基本消失; A因子 ( $2860\text{ cm}^{-1} + 2930\text{ cm}^{-1} / (2860\text{ cm}^{-1} + 2930\text{ cm}^{-1} + 1600\text{ cm}^{-1})$ ) 的变化趋势是小于  $290^\circ\text{C}$  逐渐增大,大于  $290^\circ\text{C}$  则正相反; Kal ( $2930\text{ cm}^{-1} + 2860\text{ cm}^{-1}$ ) 先增后减。A因子和 Kal 的变化特征表明藻类体进入生油门限较晚。

**基质镜质体:**基质镜质体 A(系一种正常镜质体)的 Kal 和 A 因子只有一个极值,大约相当于  $V_{R_0}$  为 0.9~1.0% 左右。而基质镜质体 B(系一种富氢镜质体)的红外参数 Kal 和 A 因子有两个极大值,分别相当于  $V_{R_0}$  为 0.5% 和 0.9% 左右,说明基质镜质体 B 成烃早,结束晚且有两次成烃峰期。在同一成熟度下,基质镜质体 A 的脂族结构吸收频带强度比基质镜质体 B 小得多,表明其成烃潜力比基质体 B 要低得多。

**沥青质体:**含丰富的  $\text{C}_H$  和  $\text{C}_H$  官能团,随热演化增高,沥青质体 A(高等植物壳质组特别是角质体的破碎和降解)的 Kal 最大值位于  $260\sim 290^\circ\text{C}$  之间,  $400^\circ\text{C}$  时该值变得很弱,  $1460\text{ cm}^{-1}$  于  $290^\circ\text{C}$  达最大值,说明沥青质体 A 成烃较早;沥青质体 B(源于藻类等低等水生生物降解)的 Kal 和 A 因子在  $260\sim 320^\circ\text{C}$  之间变化幅度小,大于  $320^\circ\text{C}$  时则强烈下降,代表烷链结构的吸收峰在  $400^\circ\text{C}$  时仍有较强显示,说明沥青质体 B 生油晚,液态窗范围宽。

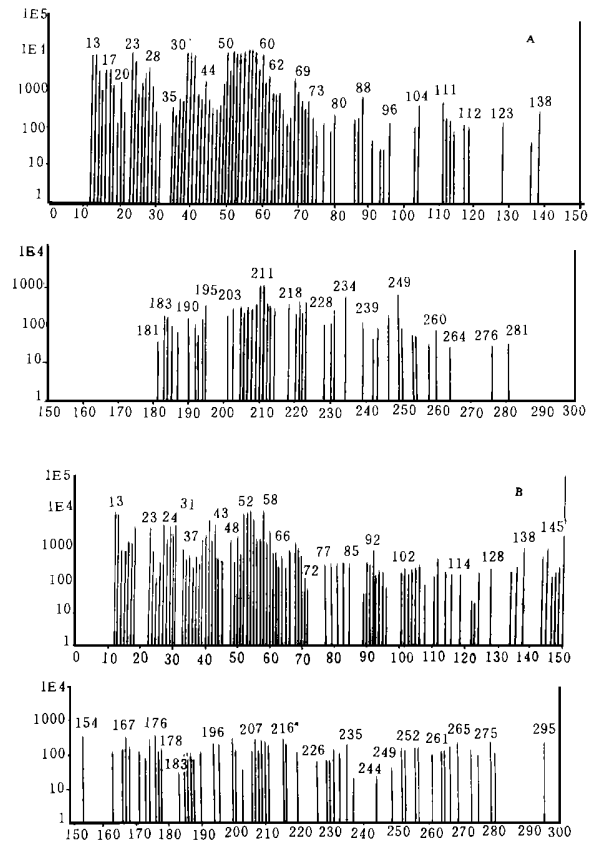
**孢子体:**Kal 和 A 因子的极大值位于  $290^\circ\text{C}\sim 320^\circ\text{C}$  附近,表明此温度段内孢子体液态烃产出最大。

**角质体:** $260^\circ\text{C}$  时,代表脂族基团的  $2950\text{ cm}^{-1}$  和  $2860\text{ cm}^{-1}$  峰位达最大值,到  $360^\circ\text{C}$  时,该峰位仍较强,表明角质体生油早且结束晚,液态烃产出范围宽。

**树脂体:** $V_{R_0}$  为 0.4%~0.6% 阶段内,  $\text{C}_H$  和  $\text{C}_H$  伸缩振动吸收峰  $2950\text{ cm}^{-1}$  和  $2860\text{ cm}^{-1}$  的强度明显减少,且随温度增高,强度继续降低。表明树脂体具早期生油的特点,且生油门限宽可延续到  $V_{R_0}$  为 1.0% 左右。

**现代木栓组织:** $2950\text{ cm}^{-1}$  和  $2860\text{ cm}^{-1}$  在  $200^\circ\text{C}$  达最大值,随后频带强度降低,  $320^\circ\text{C}$  时,脂族

结构吸收峰消失。以上表明现代木栓层成烃早,结束也早的特点,大约在  $V_{R_0}$  为 0.5% 以前即开始大量生油,  $V_{R_0}$  为 1.0% 左右便结束生油史。



a. 笔石 (glaptolite), 塔里木 (Tarim), O

b. 镜质体, P<sub>2</sub>, 贵州化处 (Huachu, Guizhou)

图 2 笔石和镜质体的二次离子质谱图

Fig. 2 Secondary ion spectra of glaptolite and vitinites

**粘球藻:** $2950\text{ cm}^{-1}$  和  $2860\text{ cm}^{-1}$  在  $360^\circ\text{C}$  达最大值,直到  $400^\circ\text{C}$  仍有显示, Kal 和 A 因子也表现出相同特征,表明粘球藻生油晚,结束晚。由荧光观察和成熟度测试表明粘球藻的油窗在  $V_{R_0}$  为 0.6%~1.0% 之间。

**虾蛄:** $260^\circ\text{C}$  时  $2950\text{ cm}^{-1}$  和  $2860\text{ cm}^{-1}$  达极大值,  $290^\circ\text{C}$  时产烃最大,随后 Kal 和 A 因子急剧降低乃至消失。表明虾蛄成烃早,结束早,油窗范围窄。

## 2.3 有机成分的生油模式

根据红外光谱特征和荧光特征初步建立起中国源岩生油组分及两种现代海生生物的生油模式(图 1)。该模式是以单成分为基础的微区分析方法而建

立的,全面地反映了单成分的生油特点,较传统的干酪根成烃模式有极大的改进和完善

### 3 有机成分的地化特征

我们利用 SIMS对笔石、沥青、镜质体、丝质体等不同成因类型的样品进行了分析。研究结果表明在低成熟时二次离子主要集中在低质量数和质量数处,而中等质量数处则形成亚稳离子,因此二次离子较少;成熟度较高时二次离子分布较均匀。笔石较镜质体贫芳烃,是较镜质体好的油源物质,且出现  $m/z$  219 234 249等离子峰,而镜质体缺乏,表明前者含有噻吩硫(图 2)。沥青  $m/z > 200$ 后出现的离子峰较丝质体多,最大达  $m/z$  271,说明该沥青芳环缩合不高,含侧链、支链较多。此结果同样为 micro-FTIR研究证实,因而它较后者具更大的生烃潜力。

此外,由  $CH_2/CH$  参数统计结果表明,镜质体、笔石、沥青三大显微组分随热演化程度增高, $CH_2/CH$  比值减少,但三者减少幅度不一,镜质体适中,笔石较缓慢,沥青在低成熟时( $V_{R_0}$ 为 0.2%~0.6%)减小幅度大,到了成熟—高成熟时,则减小幅度十分缓慢。因此沥青在低成熟时对热敏感程度大, $V_{R_0}$ 可作为热指标;笔石在高成熟时 $V_{R_0}$ 可作为热指标;镜质体 $V_{R_0}$ 是理想的热指标。上述结果表明不同显微组分的 $CH_2/CH$ 比值可以用来评

价显微组分的热演化规律

## 4 结 论

(1)提出了中国源岩有机成分的分类方案。该方案既适用陆相源岩,也适用于海相源岩,同时也考虑了成熟度的影响。给予和摆正一些有机成分在分类上的位置;

(2)全面研究了显微、超微有机成分的岩石学和地化特征;

(3)初步建立了中国油气源岩显微组分和两类海生生物的生油模式。指出海相碳酸盐岩源岩(可能还有泥岩源岩)的生油窗宽于陆相的, $V_{R_0}$ 约为 0.5%~1.6%。

### 参 考 文 献

- [1] Buchardt, B and Lewan, M D Reflectance of Vitrinite-Like Macerals as a Thermal Maturity Index for Cambrian-Ordovician Alum Shale Southern Scandinavia AAPG Bull. 1990, 1 (74): 394-406.
- [2] Mckirdy D M, Agu J K, John, K E and Alan K A, 1984, Hydrocarbon genesis and organic facies in Cambrian carbonate of the Eastern Officer Basin, South Australia, In Petroleum Geochemistry and Source Rock Potential of Carbonate Rocks, ed by James G Palacas, AAPG Studies in Geology 18, AAPG Tulsa Oklahoma U S A.

## Genetic classification of Organic Components of Hydrocarbon Source Rocks in China and Its Geological Features

Jin Kuili Liu Dameng Yao Suping and Xiao Xianming

(Beijing Graduate School, University of Mining & Technology, Beijing 100083)

### Abstract

According to the study on oil-gas source rocks in China for ten years, at the microscopic and submicroscopic levels, the authors on the one hand used the microscope photometry together with transmission electronic microscopy, scanning electronic microscopy, Fourier transformation infrared microscopy and secondary ion mass spectrometry to study the petrological and geochemical characteristics of organic matter and on the other hand employed small tubes and the pressure cooker for thermal simulation, combined with analyses of organic petrology and geochemistry to elaborate their hydrocarbon-generating regularities. On the basis of these studies, the authors proposed a new classification for sedimentary organic matter.

This classification is not only suitable for terrestrial source rocks, but also for marine ones, meanwhile, the influence of maturity on macerals is considered, and the division of source macerals was modified.

The characteristics of the composition or structure of some macerals such as zoo-organite and amorphonite are determined, especially, the oil-generating models of both macerals in Chinese source rocks and individual marine organisms were set up.

**Key Words** organic component of source rock compositional geochemical feature compositional hydrocarbon-generating model