

# 低熟烃源岩的有机岩石学描述及研究<sup>①</sup>

李佩珍<sup>1</sup> 张学军<sup>1</sup> 黄蓉<sup>1</sup> 陆现彩<sup>2</sup>

<sup>1</sup> (胜利石油管理局地质科学研究所, 山东东营 257015) <sup>2</sup> (南京大学地科系, 南京 210008)

**提 要** 本文利用显微光度术,对东营凹陷南斜坡沙四段低熟烃源岩有机显微组分进行了分类和定量,研究了凹陷各部位不同深度显微组分的特征、组成和分布,发现小古囊藻在本区某些层段尤其丰富,丛粒藻、盘星藻、渤海藻时有可见,全岩中矿物沥青基质与干酪根中的无定形含量呈正相关,确定了由低等水生生物来源的无定形是本区的主要生油母质之一。利用镜质体反射( $R_v\%$ )与烃类转化率关系,结合藻类热模拟实验,从有机岩石学的角度探讨了低熟烃源岩中有机质的性质、成烃及演化。

**关键词** 东营凹陷沙四段 低熟烃源岩 藻类 无定形 热模拟

**分类号** P 618.13Q 1/P 585.1

**第一作者简介** 李佩珍 女 43岁 高级工程师 有机岩石学

## 前 言

80年代后期,在我国油气勘探中发现了大量的未、低熟原油,其中东营凹陷南坡沙四段的低熟烃源岩,是胜利油区具有工业价值低熟原油的生油层。经研究认为,陆相湖盆沉积环境具有邻近物源、短距离搬运和快速堆积造成沉积有机质局部富集的特点,某些生烃活化能低的特定有机母质,可以低温早熟生成油气<sup>[1]</sup>。本文利用有机岩石学方法探讨低熟烃源岩中有机显微组分的特征、组成、分布以及它们早期成烃的现象。

## 1 有机显微组分

### 1.1 显微组分分类与特征

对全岩光片、干酪根薄片中的有机显微组分进行鉴定,采用相对应的分类术语,参照国际褐煤显微组分分类方案<sup>[2]</sup>,提出了低熟岩显微组分6分法的分类。本区显微组分的特征主要是:腐殖组大多以富氢的形式存在,常见的有充分分解腐木质体和均匀凝胶体;惰性组中普遍见到菌孢和菌丝;壳质组常见的是孢子体、角质体、木栓质体等,它们以两种形式出现,一种形态完好,结构清晰,另一种外廓保存不整齐,孢腔模糊,是由微生物的侵袭所至;腐泥组包

括藻类体和矿物沥青基质,藻类体又有结构藻类体和无结构(层状)藻类体之分,矿物沥青基质经酸处理后为干酪根无定形。该区藻类体有葡萄藻、盘星藻、付渤海藻、小古囊藻等。层状藻堆积的薄层,每层厚度在 $1\mu\text{m}$ 左右,长度可达 $100\mu\text{m}$ 以上。干酪根无定形分为三种:即藻类无定形、菌解无定形和降解无定形<sup>[3]</sup>,这些组分的生烃能力极强,将制好的干酪根薄片在室温下放置1个月后,镜下可见到有油珠析出;动物有机碎屑组包括动物硬体和动物软体;次生有机组是烃源岩原生有机质在演化过程中形成的新生产物,有油质沥青、油珠等,通常认为是烃类开始形成的标志。

### 1.2 显微组分的组成

本区特定的咸化沉积环境和低演化阶段,表现在显微组分的组成上也有其独特之处。将已分析的全岩和干酪根样品的显微组分平均含量分别列于表1。有形态的颗粒约占全岩体积的 $0.3\% \sim 11.3\%$ ,平均为 $5.8\%$ 。我国酒东盆地典型的烃源岩显微组分含 $5.0\%$ <sup>②</sup>,临清凹陷的烃源岩显微组分含 $3.95\%$ <sup>③</sup>。从这一点看,已采集的南斜坡低熟岩样品完全属于“典型的烃源岩”。除此以外,某些层段高含量的矿物沥青基质内隐藏着极其丰富的类脂物质,其主要特征是:大多数样品的干酪根无定形含量在

① 本文为“八·五”石油天然气总公司重点科技攻关项目(编号 85-104-09-01)“油气生成、运移、聚集模型研究”中部分内容。

② 黄第藩、王铁冠等。1990,酒东盆地石油地质地球化学综合研究和远景评价

③ 王铁冠、钟宁宁等,临清拗风(东部)石油勘探地球化学综合研究

收稿日期:1996-10-12

40%~95%之间,有机碳大于2.0%,H/C比值平均为1.52,且它们的含量与全岩中的矿物沥青基质呈正相关(见图1)。显然矿物沥青基质和相应的无定形是作为重要母质之一参与了盆地的成烃。

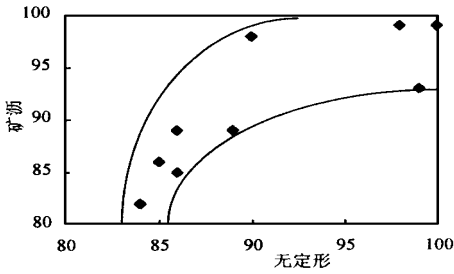


图1 矿物沥青基质与无定形含量关系图

Fig. 1 Relationship between mineral-bituminous groundmass and amorphous substance

形虫化石,镜下观察显微组分以低等藻类来源为主,干酪根镜鉴为I、II<sub>1</sub>型,这些组分结构较面4-5-16井同层段比较,形态结构保存较差;Es<sub>4</sub>下和Ek是砂质泥岩和蓝灰色泥岩,组分以矿物沥青基质占绝对优势。

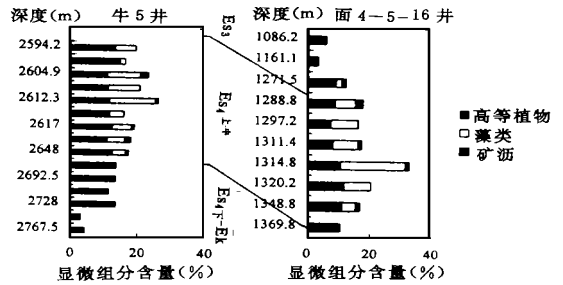


图2 显微组分含量(%)纵向分布图

Fig. 2 Vertical distribution of maceral contents(%)

1.3 显微组分的分布

东营盆地南斜坡沙四段时期是一个湖盆扩张水体由咸化逐渐淡化的过程,且由南往北湖盆水体逐渐变深,显微组分的分布也有其相应的规律性

(1)显微组分纵向的分布

图2是面4-5-16和牛5两口重点井的显微组分相对含量纵向分布柱状图,面4-5-16井从1034 m到1369.8 m(Es<sub>3</sub>-Es<sub>4</sub>)取芯336 m,牛5井从2594.2 m到2767.5 m(Es<sub>4</sub>-Ek)取芯173.3 m

如图2所示,面4-5-16井的显微组分是以高等植物和低等水生生物碎屑混合为特征,Es<sub>3</sub>段砂质泥岩,主要是高等植物为主的II<sub>1</sub>~II<sub>2</sub>型干酪根,为滨浅湖沉积环境;Es<sub>4</sub>段是一套较完整的灰质页岩和灰质泥岩,生物化石丰富,为淡水-微咸水,各种生物大量发育的内湖相沉积环境。牛5井Es<sub>4</sub>上、中段岩性主要以油页岩和灰质泥岩为主,含大量的介

(2)显微组分的平面分布

凹陷边缘的显微组分含量较低且以高等植物来源为主,说明离陆源区较近;凹陷斜坡地段有机组分丰富,以低等藻类及其降解形成的无定形为主,说明该区水体稳定,营养充足,有利于水生生物的生长繁育;在凹陷的深部,显微组分以无定形为主;总体上来看整个南斜坡由南往北高等植物减少,低等水生生物逐渐增多。此外,在两口井内见到了一层高含小古囊藻的富集层,这一层厚度较大的烃源岩层与其它层段相比,具有有机质含量高、富氢物质浓度大的特点。表2示出,各项指标均高出5~10倍左右,有的甚至达到20倍以上。对比两口井小古囊藻的富集层面4-5-16井又比牛5井的各项指标高得多,但烃类生成指数S<sub>1</sub>/S<sub>2</sub>却是牛5井大于面4-5-16井,这说明较深的埋藏,对有机质向烃类的转化更为有力。

表1 不同层段烃源岩中的显微组分含量

Table 1 Maceral content of source rocks in different intervals

层段	深度(m)	全岩显微组分含量(%)					干酪根显微组分相对含量(%)						R <sub>o</sub> %
		镜质组	惰质组	壳质组	藻类	矿沥	镜质组	惰质组	壳质组	藻类	无定型	类型指数	
面4-5-16	1034~1178	3.5	0.4	0.3	0.3	/	34.7	/	47.7	8.0	9.7	II 2/15.5	0.31
面4-5-16	1271~170	0.7	0.3	0.4	9.9	60.9	1.7	0.9	14.3	43.8	39.3	II 1/79.2	0.33
Es <sub>4</sub> 牛5	2594~2648	0.5	/	0.4	6.4	80.8	0.8	/	2.0	30.8	66.6	I /97.9	0.36
Es <sub>4</sub> 牛5	2662~2728	/	/	0.3	0.3	86.4	/	/	0.4	5.2	94.3	I /99.8	0.46
Ek <sub>4</sub> 牛5	2747~2767	0.1	0.1	0.1	/	16.7	21.7	20.0	/	0.3	58.0	II 2/21.4	0.53
Es <sub>4</sub> 牛1	3608	0.6	/	/	6.5	14.9	29.0	1	/	/	70.0	II 1/47.3	0.70

表 2 各层段部分指标数据对比  
Table 2 Comparison of some indices

井名	层位	C %	A %	I H	干酪根提取量%	S1	S2	S1/S2
面 4-5-16	Es <sub>3</sub>	0.28	0.0075	59.8	0.05	0	0.19	0
	Es <sub>4</sub>	0.64	0.032	545.3	0.90	0.17	9.06	0.02
	Es <sub>4</sub> (小古囊藻富集层)	11.0	0.5974	2745.0	7.89	3.99	246.4	0.02
牛 5	Es <sub>4</sub> 上 Es <sub>4</sub> 中 (小古囊藻富集层)	2.95	0.5679	883.7	1.69	2.02	18.2	0.11
	Es <sub>4</sub> 下	0.28	0.0139	153.5	未获干酪根	0	0.36	0
	Ek	0.15	0.011	59	未获干酪根	0	0.01	0

## 2 有机质的演化及成烃

### 2.1 矿物沥青基质的演化

图 3 中○点为  $R_o < 0.4\%$  的岩石样品,其烃转化率与矿物沥青基质的含量呈正相关关系。说明由低等的浮游群体藻类分解而形成的矿物沥青基质,在浅层中以微生物降解为主导的未成熟阶段,随着降解的过程已经开始释放烃类形成低熟原油。图 3

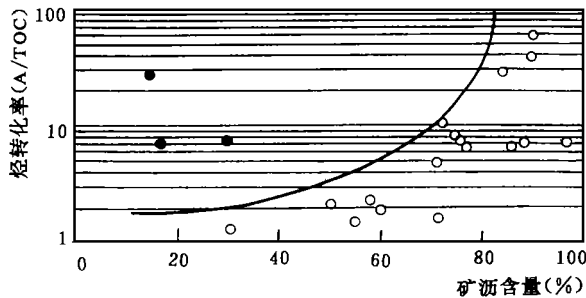


图 3 烃转化率与矿物沥青基质含量关系图

Fig. 3 Relationship between the conversion efficiency of hydrocarbons and mineral-bituminous groundmass

中的●点,均是  $R_o > 0.47\%$  的样品,它们的矿物沥青基质含量  $< 30\%$ ,但烃转化率较高,这是由于成熟度达到一定阶段时,矿物沥青基质中的有机质大量成烃,并已发生油气运移而造成本身减少的原因

### 2.2 藻类热模拟荧光特征

为了验证低熟岩中有机质的早期生烃,对现代绿藻类葡萄藻 (*Botryococcus*) 的多温阶加热模拟实验固体残渣的镜鉴与荧光分析,发现其外观和荧光特征有两次明显的变化。当样品由室温加热至  $150^\circ\text{C}$  时,样品呈粉末状,荧光性并无可察觉的变化;但在  $200^\circ\text{C}$  发生了一次明显的荧光跃变,  $\lambda_{\text{max}}$  由  $490\text{ nm}$  增加至  $540\text{ nm}$ ,残渣呈硬胶粒状;随后,从  $250^\circ\text{C}$  起  $\lambda_{\text{max}}$  发生“蓝移”,至  $330^\circ\text{C}$  复又“红移”,

$350^\circ\text{C}$  骤增到  $600\text{ nm}$ ,残渣呈稠胶糊状;  $400^\circ\text{C}$  时荧光便完全消失 (图 4)。很显然,  $200^\circ\text{C}$  前的荧光跃变

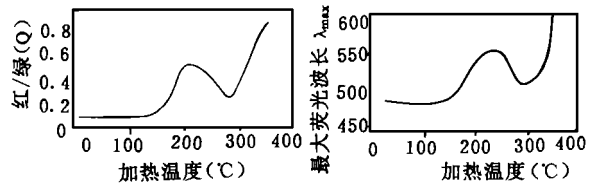


图 4 葡萄藻加热过程的荧光特征变化

Fig. 4 Fluorescence variability of *Botryococcus* during heating

反映加热实验模拟出了藻类生物体内“原生”的活化能和聚合度较低的非烃类脂物在演化早期的转化。  $300^\circ\text{C}$  以后的荧光“红移”才是可与“干酪根”分子结构热变化类比的荧光特征变化。所以,藻类体在演化初期的荧光变化,是其生物体内活化能和聚合度较低的非烃类脂物在进入“干酪根”结构之前的转化所致,也是低熟油形成的标志。

### 2.3 自然剖面有机质的演化及成烃

根据上述有机岩石学分析资料及认识,分析沙四段低熟烃源岩沿埋深绘制出的成熟度演化曲线 (图 5A) 和烃产率曲线 (图 5B-5C),发现在  $1000\text{ m} \sim 3600\text{ m}$  埋深范围内,  $R_o$  变化在  $0.24 \sim 0.37\%$ ,大部分样品处于  $R_o < 0.5\%$  的低成熟带。根据有机岩相的分析,发现富含藻类或藻类富集层和矿物沥青基质的油页岩、页岩相,其烃产率曲线的突出部分 (俗称肚子) 与钙质纹层泥岩相不同,按照烃产率  $\geq 20\text{ mg 烃/g 有机碳}$  的标准,它的上下门限分别是  $1350\text{ m}$  和  $3100\text{ m}$ ,相应的  $R_o\%$  为  $0.35$  和  $0.50\%$  (图 5B)。而有机质丰度较低的钙质纹层泥岩相的烃产率曲线则遵循干酪根热演化成烃的规律,生油门限明显大于油页岩、页岩相 (图 5C),此类样品烃产

率达到 20 mg 烃 /g 有机碳时,其成熟烃类生油窗的上门限应是 2 500 m,  $R_o$  为 0.45%。由此可见,油页岩、页岩相中含有丰富的藻类和无定形,其生物先质中的简单类脂物具有相对较低的生烃活化能,在较低的热演化阶段即可生成低熟原油

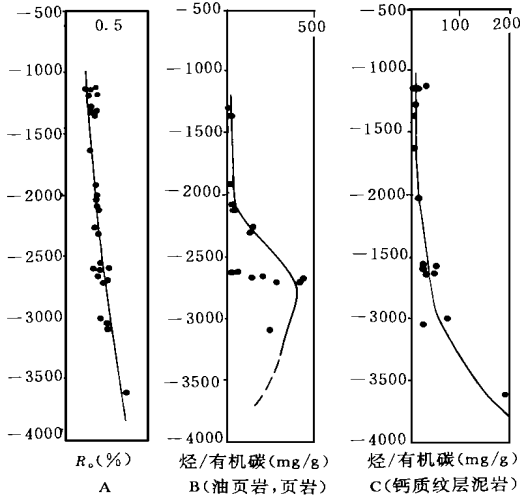


图 5 低熟烃源岩的烃产率曲线

Fig. 5 Hydrocarbon-generating rate curve of low mature source rocks

### 3 结 论

烃源岩中的有机质的成岩作用是一个复杂的物理化学过程,既受原始的沉积作用制约,又与成岩过

程中沉积物各组成部分的变化紧密联系;综合以上研究,我们认为本区低熟烃源岩的主要特征及低熟油的形成可能与以下几个因素相关

(1) 低熟烃源岩中组分复杂,含丰富的藻类和矿物沥青基质,且全岩中的矿物沥青基质与干酪根中的无定形成正相关关系

(2) 有机显微组分的组成和分布受沉积环境的控制,有机质富集的油页岩、页岩层是低熟油形成的主要场所。

(3) 自然剖面与热模拟的实验结果证实,藻类在生烃演化过程中有两个主要成烃阶段,低熟阶段是生物体内“原生”的活化能和聚合度较低的非烃类脂物在早期的转化,成熟阶段是化学结构重整和化学成分变化的干酪根时期

(4) 沙四段油页岩、页岩生成低熟油的上下门限分别是 1 350 m 和 3 100 m,  $R_o$  为 0.35%~0.50%,藻类生物先质中的简单类脂物具有相对较低的生烃活化能,可以成为未成熟—低成熟阶段的生烃母质

### 参 考 文 献

- [1] 王铁冠,钟宁宁等.低熟油气形成机理与分布.北京:石油工业出版社,序.
- [2] 杨起等.中国煤田地质学(上册).北京:煤炭工业出版社,1979,42.
- [3] 肖贤明.有机岩石学及其在油气评价中的应用.广州:广东科技出版社,1992,47.

## Organic Petrologic Description and Study of Low Mature Source Rocks from the South Slope of the Dongying Depression

Li Peizhen<sup>1</sup> Zhang Xuejun<sup>1</sup> Huang Rong<sup>1</sup> and Lu Xiancai<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(Geological Scientific Institute, Shingli Petroleum Administration, Dongying 257015)

<sup>2</sup>(Department of Earth Science, Nanjing University, Nanjing 21008)

### Abstract

The organic macerals of low maturity source rocks of Es<sub>4</sub> in Dongying Depression were classified and quantified by using microscope photometry, and the macerals were classified into 6 groups as follows: inerinite, vitrinite, exinite, sapropelinite, organozoclastinite and secondary group. Their property, composition and distribution in different depth and position of this depression were also studied. In analyzing, it showed that *Palaeostomosystis minor* is rich especially in some beds, with the common presence of *Botryococcus*, *Pediastrum* sp and *Bohaidina* sp. A direct proportionality exists between mineral-bituminous groundmass and amorphous substance. In the low mature source rocks from the Dongying Depression, amorphous substance was decomposed by low aquatic organisms and was further determined to be one of the major parent materials of oil and gas. Using the relationship between vitrinite reflectance and conversion efficiency of hydrocarbons and combining the thermal modelling, the genesis, hydrocarbon-generating and evolution patterns could be well understood from the viewpoint of organic petrology.

**Key Words** Es<sub>4</sub> in Dongying Depression low mature source rocks algae amorphous substance thermal modelling