

文章编号: 1672-9854(2009)-03-0073-06

海相烃源岩有机质类型的“双重属性”初探

——以安徽南陵—无为地区浅水台地相碳酸盐岩为例

曾艳涛^{1,2}, 文志刚^{1,2}, 杨立国³

(1 长江大学地球化学系; 2 长江大学油气资源与勘探技术教育部重点实验室)

(3 长庆油田第四采油厂)



曾艳涛

摘要 普遍认为海相烃源岩的生烃母质以菌藻类为主,有机质类型好,其生烃潜力也高。新的研究认为这一观点有待商榷。南陵—无为地区上古生界和中生界海相地层烃源岩有机质表现出“双重属性”:反映母质来源的评价指标干酪根镜下鉴定和碳同位素组成显示为腐泥型特征,有机质类型好;而反映生烃能力的评价指标干酪根元素比和岩石热解等参数则表现出其生烃潜力整体只相当于Ⅲ型有机母质的水平。对于海相烃源岩不能一概以生源优劣来直接代替有机质的生烃能力。认识到腐泥型的有机质成烃降解率并不总是很高,这对于客观地评价浅水台地环境沉积的碳酸盐岩生烃潜力是非常重要的。

关键词 海相地层;碳酸盐岩烃源岩;烃源岩评价;生烃能力;有机质类型;南陵—无为地区
中图分类号: TE112.113 **文献标识码**: A

曾艳涛 1976年生,讲师;2001年毕业于江汉石油学院应用地球物理专业;2004年获中国石油大学(北京)资源与信息学院环境与地球化学专业硕士学位。现主要从事油气地球化学的研究与教学工作。通信地址:434023 湖北省荆州市长江大学地球化学系;联系电话:(0716)8060406

我国大面积地分布着古生界海相地层,其总体特征是时代老、有机质丰度低而热演化程度高。迄今为止,只是在富含有机质的海相泥岩和泥质碳酸盐岩烃源岩的地区才真正勘探到了原生的海相油气田,而在以纯碳酸盐岩沉积为主的地区并未发现有重要意义的油气资源。我国许多学者一直认为海相碳酸盐岩的生烃母质一般以低等生物菌藻类为主,是富含类脂组分的Ⅰ型有机质,成烃降解率高^[1-2]。近年来,随着对海相碳酸盐岩沉积环境的深入研究,已有许多学者认识到沉积环境对有机质性质的影响。海相纯碳酸盐岩由于特殊的沉积作用,它所处的氧化环境对有机质保存极为不利,一般属于较差的有机相,导致有机质遭受氧化而表现为H/C元素比低、O/C元素比高,其原始生烃潜力并不高。因此海相碳酸盐岩有机质质量不能一概而论,虽然其生源主要是菌藻类,比较优越,但部分干酪根的生烃潜力可能只相当于腐殖型干酪根。也就是说,海相碳酸盐

岩有机质类型具有“双重属性”的特征,用反映母质来源的指标评价属于好的有机质类型,而用反映生烃能力的评价指标来衡量其有机质类型则有可能是较差的^[3-6]。

本文以安徽南陵—无为地区上古生界和中生界海相烃源岩为例,具体探讨在我国东部海相沉积地层中具有代表性的浅水台地相碳酸盐岩有机质类型,揭示其“双重属性”特征。

1 区域地质构造概况

南陵—无为地区位于安徽省中南部,南陵盆地和无为盆地为其主要的构造单元,这两个盆地面积分别为2 800 km²和2 500 km²,均呈北东—南西走向,构造位置分别处在下扬子准地台的句容—南陵断陷带和无为一望江断陷带内。研究区西北侧为庐庐断裂和滁河断裂,东南侧为江南断裂和绩溪断裂,在其西南端分布着潜山盆地和望江盆地,东南

收稿日期:2008-05-26

角为宣广盆地(图1)。该地区上古生界和中生界海相地层主要为一套浅水台地相碳酸盐岩沉积,地层总厚度在700 m左右^①。笔者2004年对其进行了野外剖面取样,共计180块样品,分别采自三个剖面(图1):A为巢县凤凰山剖面,取样48块;B为巢县马家山剖面,取样48块;C为巢县平顶山剖面,共取样84块。样品所涉地层包括3个系8个组,从下至上分别为石炭系金陵组(C_{1j}),二叠系栖霞组(P_{1q})、龙潭组(P_{2l})、大隆组(P_{2d}),三叠系殷坑组(T_{1y})、和龙山组(T_{1h})、南陵湖组(T_{1n})以及东马鞍山组(T_{2d})。具体情况见表1。

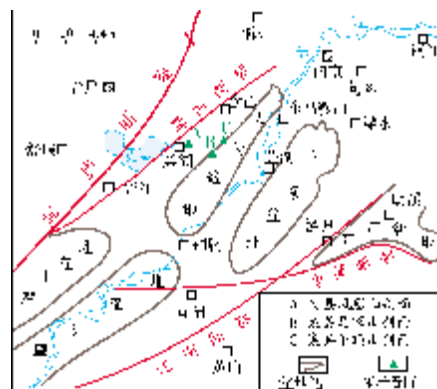


图1 南陵—无为地区构造略图

表1 南陵—无为地区上古生界—中生界地层及取样

地 层				厚 度 (m)	主 要 岩 性	剖面代号(样品数)
界	系	统	组			
中生界	三叠系	中	东马鞍山组(T _{2d})	>17.9	上部盐溶角砾岩,下部灰质白云岩	B(2)
		下	南陵湖组(T _{1n})	155.4~258.0	微晶、泥晶灰岩夹白云岩,含燧石结核	B(46)
			和龙山组(T _{1h})	21.2~36.2	上部微晶、泥晶灰岩,下部页岩夹灰岩	C(16)
			殷坑组(T _{1y})	83.8~84.5	泥晶灰岩夹页岩,白云质灰岩	C(12)
上古生界	二叠系	上	大隆组(P _{2d})	13.0~24.2	硅质、碳质泥岩夹白云质泥岩、硅质岩	C(5)
		下	龙潭组(P _{2l})	65.3~121.2	硅质岩、硅质泥岩,泥质粉砂岩夹煤层	C(4)
			栖霞组(P _{1q})	149.0~231.5	生物碎屑灰岩,硅质页岩,含燧石结核	C(47); A(45)
	石炭系	下	金陵组(C _{1j})	0.4~9.3	含生物碎屑微晶灰岩,粉砂质泥岩	A(3)

2 烃源岩有机质类型评价指标分类

对烃源岩的有机质类型评价指标有多种^[7],每一项指标都只是从某一个方面反映沉积有机质的原始特性,同时很多指标还会不同程度地受到沉积环境和热演化等因素的影响,使得其应用具有一定的局限性。多数情况下,低成熟有机质成烃降解率从腐泥型、混合型到腐殖型依次递减,原因在于在大量生烃之前,水生生物比陆生高等植物的有机体更加富氢贫氧。但是还有一个因素也应该考虑在内,即多数情况下水生生物的保存环境比陆生高等植物具有较强的还原性。如果考虑强还原性这一条件,则有机质类型指标中反映母质来源的指标并不能完全代表生烃能力的大小。由此本文把众多有机质类型评价指标分为两类(表2):一类是主要反映原始母质来源的指标,包括干酪根镜下鉴定指标(类脂体、镜质体组分含量以及由此计算出的类型指数TI值等)和干酪

根碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$;另一类是主要反映有机质生烃能力的指标,包括干酪根元素组成(C、H、O等元素含量及其比值)、岩石热解Rock-Eval分析参数(含氢指数HI、有效碳PC、总有机碳TOC)等^[5,8],笔者根据表2来具体探讨研究区海相烃源岩有机质原始特性。

干酪根是各种有机组分的集合体,在显微镜下可划分为富氢的腐泥组、壳质组和贫氢的镜质组、惰质组。有机质来源和类型不同,则各显微组分相对组成和生烃能力的大小也是不相同的。腐泥组包括无定形体和藻质体,生油潜能最大;壳质组次之;镜质组生油潜能较差,以生气为主;惰质组生油气潜能都极低。由此还可计算类型指数TI^[8],其具体公式为:

$$TI = \frac{A \times 100 + B \times 50 + C \times (-75) + D \times (-100)}{100}$$

式中 A——无定形组百分含量;
B——壳质组百分含量;
C——镜质组百分含量;

① 杨芝文,何昭勇,王小群,等. 无为、南陵地区区带、目标评价与优选. 江苏石油勘探局地质研究院,2001.

表2 烃源岩有机质类型评价指标分类

类别	指标		有机质类型			
			I型(腐泥型)	II ₁ 型(腐殖—腐泥型)	II ₂ 型(腐泥—腐殖型)	III型(腐殖型)
反映原始母质来源	干酪根镜下鉴定	类脂体(%)	>70~90	70~50	<50~10	<10
		镜质体(%)	<10	10~20	>20~70	>70~90
		TI	>80~100	80~40	<40~0	<0
反映有机质生烃能力	干酪根元素组成	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	<-28	-28~-26.5	>-26.5~-25	>-25
		H/C	>1.5	1.5~1.2	<1.2~0.8	<0.8
	岩石热解参数	O/C	<0.1	0.1~0.2	>0.2~0.3	>0.3
		HI(mg/g)	>500	500~350	<350~100	<100
		PC/TOC(%)	>70	70~30	<30~10	<10

D——惰质组百分含量。

干酪根的碳同位素组成,取决于它的生物先质的同位素组成以及发生在干酪根形成和演化过程中的同位素分馏作用。因此干酪根碳同位素组成特征含有原始母质输入的信息,高等植物成因的有机质较由低等水生生物构成的有机质更富含重碳同位素的特征,同时其热敏性较低,热演化期间受同位素分馏效应的影响较小^[8-9]。

干酪根主要由C、H、O和少量的S、N五种元素组成,母质来源不同,干酪根的元素组成也有所不同。来源于水生生物、富含类脂成分的干酪根相对富氢贫氧。干酪根中各元素含量的变化不仅与干酪根的来源和成因有关,也与干酪根的演化程度密切相关。H和O元素的含量基本上决定了干酪根的成烃降解率,H/C原子比和O/C原子比可作为有机质类型判别指标。

3 烃源岩有机质属性指标

3.1 反映母质来源的指标

3.1.1 干酪根镜下鉴定

从南陵—无为地区各层位干酪根镜下鉴定(表3)中可以看到,腐泥组占绝对优势(样品均值为87.1%),其次为镜质组(样品均值为12.5%),壳质组和惰质组含量很少(一般小于1.0%)。在显微组分三角图上(图2),除上二叠统龙潭组和下石炭统金陵组样品分别落在II₂型(腐泥—腐殖型)和II₁型(腐殖—腐泥型)有机质范围内,其它各个层位样品点都集中在腐泥组+壳质组端,为I型(腐泥型)有机质^[12]。

根据表3中干酪根镜下鉴定指标参数分析结果得出,除上二叠统龙潭组外,南陵—无为地区上古生

表3 南陵—无为地区海相烃源岩干酪根反映母质来源的指标参数及有机质类型划分

层位	干酪根镜下鉴定			干酪根碳同位素 $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	有机质类型
	腐泥组(%)	镜质组(%)	类型指数(TI)		
东马鞍山组(T ₂ d)	78.3	20.3	61.9	-30.1	I~II ₁
南陵湖组(T ₁ n)	(81.7~92.7)/87.9(6)	(7.3~17.7)/11.8(6)	(73.0~90.2)/80.5(6)	(-30.5~-29.4)/-29.9(6)	I
和龙山组(T ₁ h)	(83.0~85.7)/84.4(2)	(14.0~16.3)/15.2(2)	(70.1~74.9)/72.5(2)	(-27.8~-25.3)/-26.6(2)	II ₁
殷坑组(T ₁ y)	86.0	13.7	75.4	-31.0	I~II ₁
大隆组(P ₂ d)	95.3	4.7	91.8	-27.0	I~II ₁
龙潭组(P ₂ l)	48.4	50.7	9.3	-23.4	II ₂ ~III
栖霞组(P ₁ q)	(85.7~98.0)/91.7(13)	(2.0~14.0)/8.1(13)	(74.9~96.5)/85.4(13)	(-30.4~-27.2)/-29.5(13)	I
金陵组(C ₁ j)	69.3	29.7	46.0	-27.7	II ₁
总平均值	87.3	12.5	77.4	-29.1	

注: 数式表示: (范围值)/平均值(样品数)。

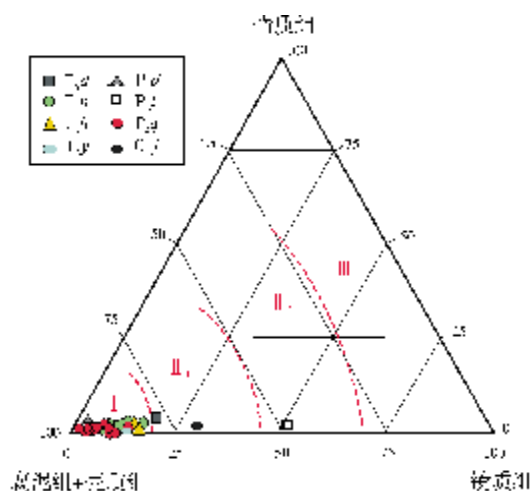


图2 南陵—无为地区海相烃源岩有机质显微组分三角图

界和中生界海相地层烃源岩其它各层位的有机质类型均为I型、II₁型或I~II₁型,表明它们是以菌藻类为主的有机质来源。

3.1.2 干酪根碳同位素

从表3干酪根碳同位素的统计资料分析可见,南陵—无为地区上古生界和中生界海相烃源岩干酪根碳同位素值在-30.4‰~-26.6‰之间,整体上有有机质类型较好,以腐泥型为主。除上二叠统龙潭组外,其它各层位的有机质类型均为I型、II₁型或I~II₁型,也显示出菌藻类为其主要有机质来源的特征。因研究区在中二叠世龙潭期为海陆交互的滨岸沼泽相沉积环境,地层广泛含煤,故其有机质类型为II₂—III型。

通过干酪根镜下鉴定和干酪根碳同位素这些反映母质来源的指标分析发现,总的来说,南陵—无为地区上古生界和中生界海相地层烃源岩整体上有有机质类型较好,其来源以菌藻类为主。

3.2 反映生烃能力的指标

3.2.1 干酪根元素组成分析

从南陵—无为地区海相烃源岩干酪根元素比分布图(图3)来看,下二叠统栖霞组中的部分样品在图上无法判断有机质的大致演化轨迹,很显然这种情况是演化程度高造成的;其余所有层位烃源岩样品的干酪根H/C原子比均值小于1.0, O/C原子比均值小于0.2,为II₂型有机质。值得一提的是,各层

位还有个别样品位于III型区域内,这些碳酸盐岩有机质高O/C比的特征并不是实验误差造成的,能够反映其自身特性。总体来看,研究区上古生界和中生界海相烃源岩有机质贫氢富氧的特性还是较明显的,其生烃潜力整体仅相当于II₂型有机质的水平。

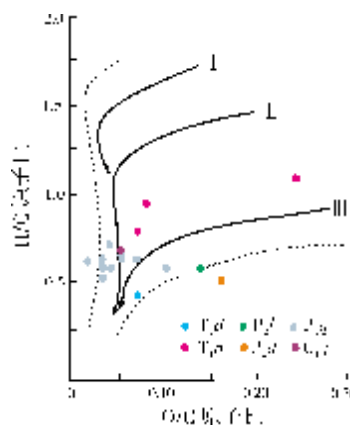


图3 南陵—无为地区海相烃源岩干酪根元素比分布 (Van Krevelen图解)

3.2.2 岩石热解参数

用于评价有机质类型的热解参数主要有:氢指数(HI)和降解潜率(D)等。从表4可以看到,研究区烃源岩的HI和D普遍偏低,HI一般都小于100 mg/g, D以小于10%为主。同时注意到,烃源岩生烃潜量(S_1+S_2)值整体也很低。诚然,热解参数是随热演化程度加深而发生变化的,在高成熟阶段,也会受热演化程度的影响。鉴于这种情况,我们可以先对高成熟的有机质进行恢复,消除热演化程度的影响。但前人的大量研究表明,对于有机碳含量较低的碳酸盐岩,按I型有机质去恢复生烃潜力未必合理;而按II、III型有机质去恢复,恢复系数又太小(对于有机质原始H/C值较低的海相碳酸盐岩,其有机质恢复系数不超过1.2),并无多大恢复意义。而且,对南陵—无为地区上古生界和中生界海相烃源岩总体来看,即使是按I型有机质去恢复,整体生烃潜量(S_1+S_2)值仍旧偏低(对于有机质原始H/C值达到1.45的烃源岩,在充分排烃的情况下其有机碳恢复系数有可能达到2.5)。由此可知,根据热解参数分析得到的研究区原始有机质类型仍旧较差。

让我们应用反映有机质生烃能力的指标——氢指数(HI)和降解率(D)与最高热解温度(T_{max})的关系再来研究有机质类型。从HI— T_{max} 关系图(图4)和

表4 南陵—无为地区海相烃源岩干酪根反映生烃潜力的指标参数及有机质类型划分

层位	干酪根元素组成		岩石热解参数			有机质类型
	H/C	O/C	HI (mg/g)	D (%)	S ₁ +S ₂ (mg/g)	
东马鞍山组(T ₂ d)	0.42	0.07	(22.62~80.10)/51.36(2)	(3.76~12.02)/7.89(2)	(0.02~0.47)/0.25(2)	Ⅲ
南陵湖组(T ₂ n)	(0.74~1.88)/1.08(5)	(0.07~0.54)/0.23(5)	(7.22~220.28)/86.14(46)	(1.20~43.38)/14.03(46)	(0.02~6.74)/0.75(46)	Ⅱ ₂
和龙山组(T ₂ h)	(1.75~3.83)/2.79(2)	(0.46~1.23)/0.85(2)	(0.00~99.8)/45.96(16)	(0.51~9.94)/5.17(16)	(0.01~0.4)/0.07(16)	Ⅱ ₂ —Ⅲ
殷坑组(T ₂ y)	2.26	0.78	(6.48~83.49)/28.8(12)	(0.63~11.97)/3.56(12)	(0.01~0.68)/0.21(12)	Ⅲ
大隆组(P ₂ d)	0.50	0.16	(4.52~44.41)/14.9(5)	(0.47~4.39)/1.50(5)	(0.03~0.50)/0.17(5)	Ⅲ
龙潭组(P ₂ l)	0.57	0.14	(10.19~352.94)/100.19(4)	(0.85~41.50)/11.43(4)	(0.02~0.36)/0.13(4)	Ⅱ ₂ —Ⅲ
栖霞组(P ₁ q)	(0.54~0.71)/0.61(11)	(0.02~0.10)/0.05(11)	(2.16~94.76)/51.09(92)	(0.21~30.91)/5.47(92)	(0.01~3.74)/0.30(92)	Ⅲ
金陵组(C ₁ j)	0.64	0.05	(37.29~72.24)/55.00(3)	(4.13~7.71)/5.90(3)	(0.04~0.14)/0.09(3)	Ⅲ

注: 数式表示: (范围值)/平均值(样品数)。

D—T_{max} 关系图(图5)可以看出,南陵、无为地区上古生界和中生界海相地层烃源岩有机质类型主要为Ⅲ型,也有少部分有机质类型为Ⅱ₂型。总的来看,研究区海相烃源岩有机质整体上都等效于Ⅲ型有机质。

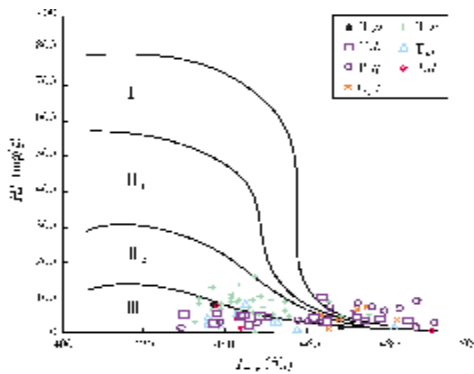


图4 南陵—无为地区海相烃源岩 HI—T_{max} 关系图
P₂l 样品的 T_{max} 值超出图外,热演化程度太高,予以忽略

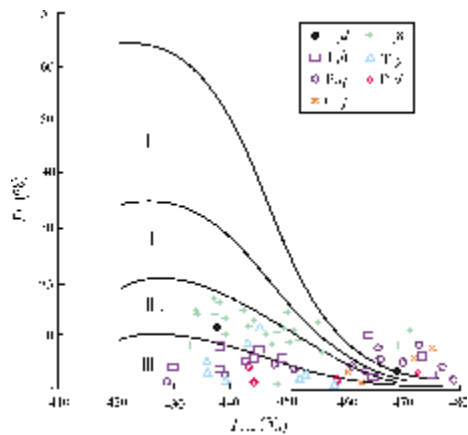


图5 南陵—无为地区海相烃源岩 D—T_{max} 关系图
P₂l 样品的 T_{max} 值超出图外,热演化程度太高,予以忽略

4 结论与讨论

综上所述,南陵—无为地区上古生界和中生界海相地层烃源岩有机质类型表现出“双重属性”:一方面,反映母质来源的评价指标——干酪根镜下鉴定、干酪根碳同位素组成等的研究表明,有机质类型整体属于腐泥型的特征,除上二叠统龙潭组含煤地层外,其他层位都为Ⅰ型、Ⅱ₁型或Ⅰ—Ⅱ₁型,有机质类型好;另一方面,用反映生烃能力的评价指标——干酪根元素比、岩石热解等参数分析发现,其生烃潜力整体只相当于Ⅲ型有机质的水平。

由此可见,海相地层烃源岩原始有机质类型好,但其生烃能力并不一定总是很高。以往国内研究中一般将 van Krevelen 图上投影到Ⅰ型、Ⅱ型和Ⅲ型演化轨迹附近的干酪根分别对应于腐泥型、混合型 and 腐殖型干酪根,这在陆相沉积中可能适用性很好。因为总体而言,陆相水体由湖沼—滨浅湖相逐渐变化为半深湖—深湖相,不但有机质保存条件变好,有机质来源也逐渐由高等植物变化为菌藻类为主。因此陆相环境中有机母质类型的优劣、保存条件的好坏、形成的干酪根成烃降解率的高低,这三者变化是一致的。但是在多数海相环境中,由于缺乏陆生高等植物的输入,即使在强氧化环境下母质类型也是腐泥型,这时显然不能忽略沉积环境的影响。不利的沉积环境将大大降低有机质的成烃降解率,所以不能一概地以生源优劣来直接代替有机质的生烃能力。认识到腐泥型的有机质成烃降解率并不总是很高,这对于我们客观地评价浅水台地环境沉积的碳酸盐岩生烃潜力是非常重要的^[36]。

参考文献

- [1] 郝石生,高岗,王飞宇,等. 高一过成熟海相烃源岩[M]. 北京:石油工业出版社,1996:1-14.
- [2] 郝石生,贾振远. 碳酸盐油气形成和分布[M]. 北京:石油工业出版社,1989.
- [3] 夏新宇. 碳酸盐岩生烃与长庆气田气源[M]. 北京:石油工业出版社,2000.
- [4] 郜建军,李明宅. 我国海相碳酸盐岩的有机相及其生油潜力[G]//地质矿产部石油地质研究所. 石油与天然气地质文集:第四集. 北京:地质出版社,1995,65-77.
- [5] 夏新宇,戴金星. 碳酸盐岩生烃指标及生烃量评价新认识[J]. 石油学报,2000,21(4):36-42.
- [6] 夏新宇,曾凡刚,洪峰. 中国陆表海碳酸盐岩有机质的生烃潜力[J]. 石油与天然气地质,2001,22(4):287-292.
- [7] 傅家谟,秦匡宗. 干酪根地球化学[M]. 广州:广东科技出版社,1995:619-628.
- [8] 许怀先,陈丽华,万玉金,等. 石油地质试验测试技术与应用[M]. 北京:石油工业出版社,2001.
- [9] 包建平,王铁冠,王金渝,等. 下扬子地区海相中、古生界有机地球化学[M]. 重庆:重庆大学出版社,1996.
- [10] 夏新宇,洪峰,赵林,等. 鄂尔多斯盆地奥陶统碳酸盐岩有机相类型及生烃潜力[J]. 沉积学报,1999,17(4):638-643.
- [11] 程克明,王兆云. 高成熟和过成熟海相碳酸盐岩生烃条件评价方法研究[J]. 中国科学: D 辑,1996,26(6):537-543.
- [12] 曾艳涛,文志刚,宋焕新. 南陵—无为地区下三叠统海相烃源岩评价与标定[J]. 海相油气地质,2006,11(4):34-38.

编辑:吴厚松

Discussion on the Dual Property of Organic Matter Type in Marine Source Rock: A Case of Shallowing Platform Carbonate Rock in Nanling-Wuwei Area, Anhui

Zeng Yantao, Wen Zhigang, Yang Ligu

Abstract: It is prevalently known that the precursor of marine hydrocarbon source rock is derived from bacteria and algae so as to good types of organic matter and good hydrocarbon-generating potential. However in recent years, this pointview of the single organic quality is still deliberative. The organic quality of Mesozoic and upper Paleozoic hydrocarbon source rocks in Nanling-Wuwei area in Anhui reveals a dual property. The data of kerogen microscopic analysis and carbon isotope show the type of sapropel kerogen while the data of kerogen elementary ratio and Rock-Eval, which are the parameters of the hydrocarbon-generating potential of the organic matter, indicate the equivalent Type-III. It is not always suitable that taking the original source replaces the hydrocarbon-generating potential. The degradation ratio of sapropel kerogen is not always high, which is important to evaluate the potential of marine hydrocarbon source rock.

Key words: Marine formation; Carbonate source rock; Evaluation of hydrocarbon source rock; Type of original matter; Hydrocarbon-generating potential, Nanling-Wuwei Area

Zeng Yantao: female, Master, Lacture. Add: Faculty of Geochemistry, Yangtze University, Jingzhou, Hubei, 434023 China