

盐湖相原油和生油岩中芳烃及硫化芳烃的分布特征

潘志清

黄第藩

林壬子

(北京石油勘探开发科学研究院)

(江汉石油学院)

作者采用GC/MS技术分析了江汉、东濮和晋县第三系盐湖相原油和生油岩中的芳香族化合物和非芳香族杂环化合物, 鉴定出80多种多环芳烃和硫化芳烃。本文讨论了它们的分布特征和含硫化合物的成因。

原油和生油岩中的芳香族化合物正日益引起人们的重视^[1, 2]。为了进一步了解陆相生油岩和原油中芳烃和硫化芳烃的组成特征和分布规律, 我们对江汉、河南东濮和河北晋县第三系盐湖相原油和生油岩进行了研究, 并与某些非盐湖相样品进行了比较。研究表明, 由于沉积和成岩条件上的差异, 不同地区的芳烃和硫化芳烃在组成与分布上也不尽相同。

一、实验和化合物鉴定

采用硅胶G薄层, 以正己烷作展开剂, 菲为标样, 从芳烃馏分中分离出五环以内的芳香族化合物和烷基噻吩等杂环化合物 ($R_f > 0.4$)。

色谱-质谱分析用TSQ-45型三级四极矩质谱仪进行。色谱条件: 石英熔融弹性色谱柱, SE-54, 长30m; 100℃恒温1min, 100—270℃, 3℃/min; 进样量1.2μl, 进样器300℃, 载气He, 分流比10:1。质谱条件: +/EI/Q1MS或Q3MS, 电离能量70eV, 接口温度300℃, 扫描范围M/Z50—500, 扫描速度1.95秒/次。

表1为鉴定出的主要芳香族化合物。图1是它们的母核碳骨架。这些化合物以及其他一些化合物可归纳为两类:

1. 不含硫的芳香族化合物: 包括萘、菲、蒽、荧蒽、苯并蒽、苯并荧蒽、联苯、苝、二苯并呋喃, 以及它们的烷基取代系列。这些化合物一般有强的分子离子峰和双电荷离子峰。单个甲基取代的芳烃具有很强的 ($M-1$)⁺

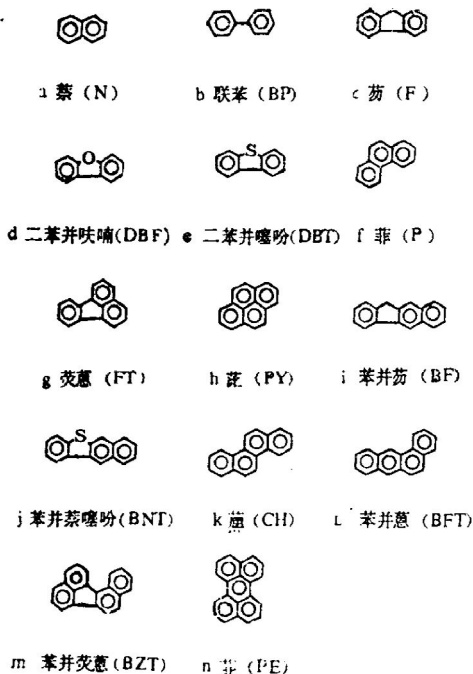


图1 多环芳香族化合物母核
括号内字母为该化合物的缩写, 下同。

本文1988年2月12日收到, 5月25日改回,

表1 多环芳香族化合物鉴定表

峰号	分子式	分子量	化合物	母核	峰号	分子式	分子量	化合物	母核
1	C ₁₀ H ₈	128	萘	a	36—37	C ₁₅ H ₁₄	194	二甲基芴	c
2	C ₁₁ H ₁₀	142	2-甲基萘	a	38	C ₁₃ H ₁₀ S	198	4-甲基二苯并噻吩	e
3	C ₁₁ H ₁₀	142	1-甲基萘	a	39	C ₁₃ H ₁₀ S	198	2或3-甲基二苯并噻吩	e
4	C ₁₂ H ₁₀	154	联苯	b	40	C ₁₅ H ₁₂	192	3-甲基菲	f
5	C ₁₂ H ₁₂	156	乙基萘	a	41	C ₁₃ H ₁₀ S	198	1-甲基二苯并噻吩	e
6	C ₁₂ H ₁₂	156	2,6-二甲基萘	a	42	C ₁₅ H ₁₂	192	2-甲基菲	f
7	C ₁₂ H ₁₂	156	1,7-二甲基萘	a	43	C ₁₅ H ₁₂	192	9-甲基菲	f
8	C ₁₂ H ₁₂	156	1,3或1,6-二甲基萘	a	44	C ₁₅ H ₁₂	192	1-甲基菲	f
9	C ₁₂ H ₁₂	156	1,4或2,3-二甲基萘	a	45	C ₁₄ H ₁₂ S	212	二甲苯二苯并噻吩	e
10	C ₁₂ H ₁₂	156	1,5-二甲基萘	a	46	C ₁₄ H ₁₂ S	212	二甲苯二苯并噻吩	e
11	C ₁₂ H ₁₂	156	1,2-二甲基萘	a	47	C ₁₄ H ₁₂ S	212	二甲苯二苯并噻吩	e
12—13	C ₁₃ H ₁₂	168	甲基联苯	b	48—49	C ₁₆ H ₁₄	206	乙基菲	f
14—15	C ₁₃ H ₁₄	170	C ₃ -萘	a	50—56	C ₁₆ H ₁₄	206	二甲基菲	f
16	C ₁₂ H ₈ O	168	二苯并呋喃	d	57	C ₁₆ H ₁₀	202	荧蒽	g
17—19	C ₁₃ H ₁₄	170	C ₃ -萘	a	58	C ₁₆ H ₁₄	206	二甲基菲	f
20	C ₁₃ H ₁₄	170	2,3,6-三甲基萘	a	59	C ₁₆ H ₁₀	202	芘	h
21	C ₁₃ H ₁₄	170	C ₃ -萘	a	60	C ₁₇ H ₁₆	220	C ₃ -菲	f
22	C ₁₃ H ₁₄	170	2,3,5-三甲基萘	a	61—65	C ₁₇ H ₁₆	220	三甲基菲	f
23	C ₁₄ H ₁₄	182	乙基联苯	b	66—67	C ₁₇ H ₁₂	216	苯并芴	i
24	C ₁₃ H ₁₀	166	芴	c	68—69	C ₁₇ H ₁₂	216	甲基芘	h
25	C ₁₃ H ₁₄	170	C ₃ -萘	a	70	C ₁₇ H ₁₂	216	甲基荧蒽	g
26—27	C ₁₄ H ₁₄	182	二甲基联苯	b	71—72	C ₁₈ H ₁₈	234	C ₄ -菲	f
28—30	C ₁₃ H ₁₀ O	182	甲基二苯并呋喃	d	73	C ₁₆ H ₁₀ S	234	苯并萘噻吩	j
31	C ₁₄ H ₁₂	180	2-甲基芴	c	74	C ₁₈ H ₁₂	228	苯并蒽	l
32	C ₁₄ H ₁₂	180	1-甲基芴	c	75	C ₁₈ H ₁₂	228	蒽	k
33	C ₁₄ H ₁₂	180	甲基芴	c	76—79	C ₁₉ H ₁₄	242	甲基蒽	k
34	C ₁₂ H ₈ S	184	二苯并噻吩	e	80—81	C ₂₀ H ₁₂	252	苯并荧蒽	m
35	C ₁₄ H ₁₀	178	菲	f	82	C ₂₀ H ₁₂	252	菲	n

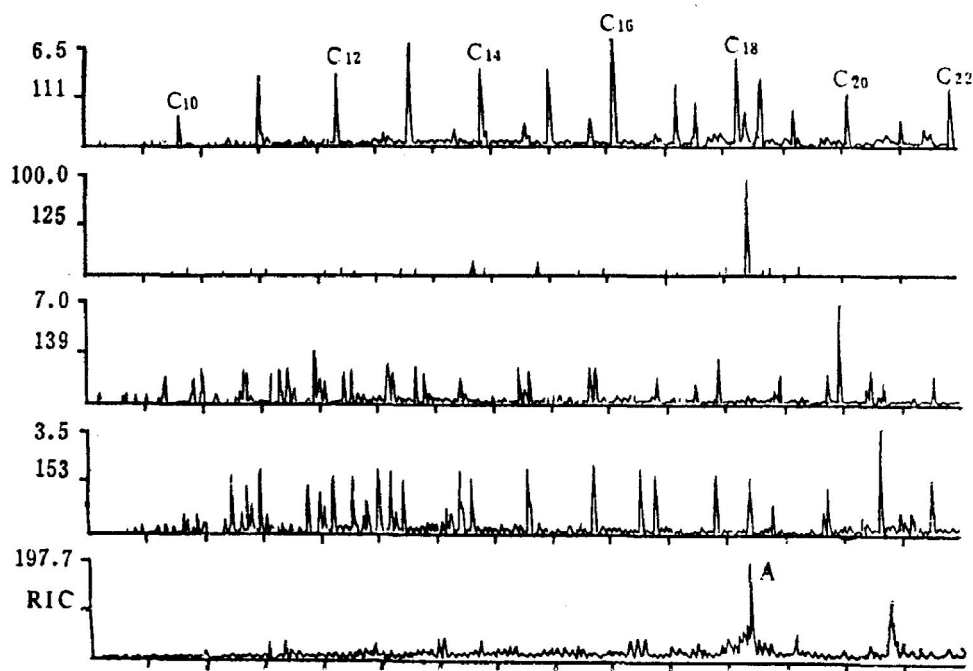
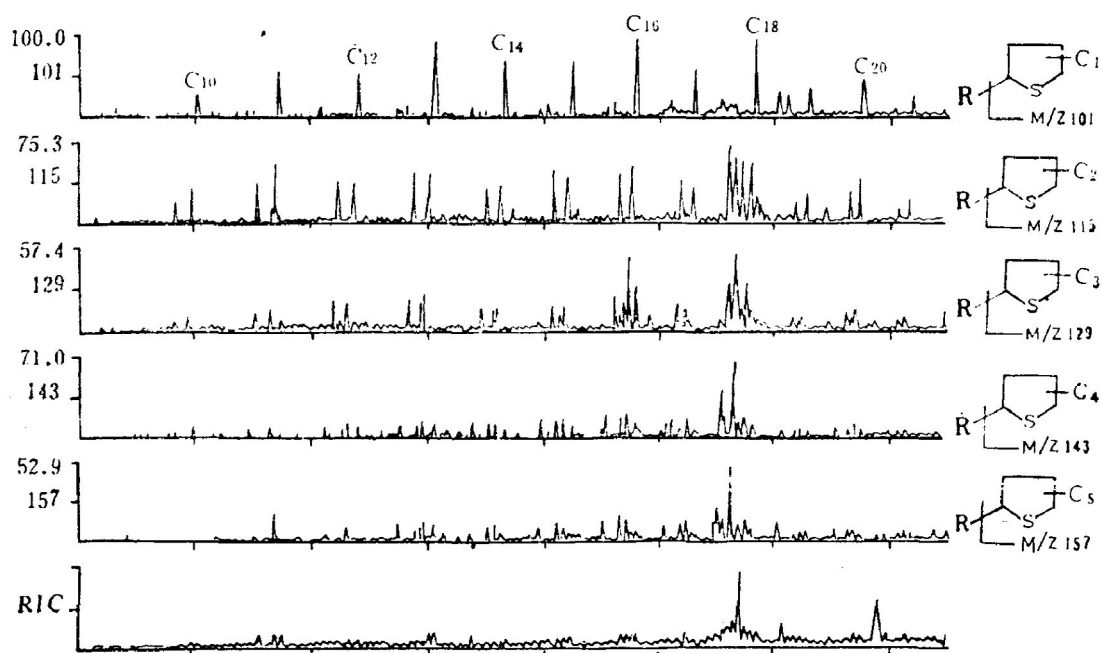
离子,多个甲基取代的芳烃易失去甲基而形成强的 $(M-15)^+$ 和 $(M-29)^+$ 离子峰。同分异构化合物,如菲和蒽、荧蒽和芘、蒽和苯并蒽等,在质谱图上区别不大,只能确定分子量,必须利用色谱保留时间和标样才能确定其结构。

2.含硫的有机化合物:包括噻吩、四氢噻吩、苯并噻吩和二苯并噻吩以及它们的烷基取代系列。

(1)烷基噻吩类,通式为 $C_nH_{2n-4}S$,在质谱图中基峰为 $m/z 111+14n$ ($n=0, 1, 2\cdots$)。图2为基本碎片离子 $m/z 111, 125, 139, 153$ 质量色谱图。利用此图可以大致确定它们的取代基数目,但是无法确定具体结构。必须根据质谱图才能确定它们的分子量和分子式。

(2)烷基四氢噻吩类,通式为 $C_nH_{2n}S$,质谱图中基峰为 $m/z 101+14n$ ($n=0, 1, 2\cdots$)。图3为 $m/z 101, 115, 129, 143, 157$ 质量色谱图。每个峰的结构由于条件限制尚不能确认。

(3)烷基二苯并噻吩类,通式为 $C_nH_{2n-6}S$,图4为其特征碎片离子 $m/z 184, 198,$

图2 m/z 111, 125, 139, 153 质量色谱图(烷基噻吩类)图3 m/z 101, 115, 129, 143, 157 质量色谱图(烷基四氢噻吩类)

212, 226 等质量色谱图。与文献对照鉴定为二苯并噻吩 (DBT), 4-甲基二苯并噻吩 (4-M, DBT), 1-甲基二苯并噻吩 (1-M, DBT) 和 2-或 3-甲基二苯并噻吩 (2-M, 或 3-M, DBT) 等。如图所示, 烷基二苯并噻吩类的分布具有随特征碎片离子质荷比降低 (即取代基碳数减少) 而丰度增大的趋势。

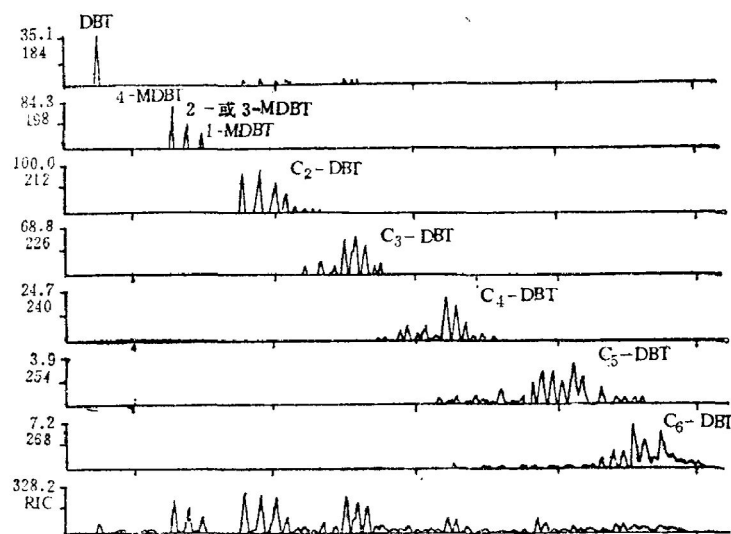


图4 m/Z184, 198, 212, 226, 240, 254, 268质量色谱图(烷基二苯并噻吩类)

二、结果与讨论

(一) 饱和烃的分布

在原油和生油岩抽提物中, 饱和烃和芳烃是密切相关的两大组分; 饱和烃能提供某些与芳烃相对应的信息。因此, 我们先将样品中饱和烃的地球化学特征简述如下。

表2所列是根据饱和烃色谱和色谱-质谱分析资料得到的地球化学参数。正烷烃的偶碳优势, 植烷优势和高含量 γ -蜡烷, 说明这些沉积物具盐湖相特征^[4, 5]。正烷烃的主峰碳数较低, 甾烷大多显 C_{27} 优势, 甾烷/萜烷值大于1, 说明有机质类型较好。据甾烷参数判断, 除东濮外, 一般成熟度不高(未成熟至低成熟)。

表2 饱和烃馏分的地球化学参数

地 区	样 号	层 位	色 谱			色 谱-质 谱						
			CPI	Pr/Ph	主峰碳	C_{29} 正常甾 $20S/(20S+20R)$	C_{29} 甾 $\beta\beta/\beta\alpha$	正常甾烷(%)			γ -蜡 甾烷	甾 萜
								C_{27}	C_{28}	C_{29}		
江 汉	4	Ex	0.76	0.53	C_{20}	0.342	0.3	27.7	19.8	52.4	0.36	1.99
	33	Eq ₁	0.98	0.22	C_{17}	0.22	0.24	48.4	20.9	30.6	0.63	1.74
	J	Eq ₁	—	—	—	0.37	0.32	66.5	9.7	23.7	0.53	3.65
晋 县	41	Ek	0.81	0.36	C_{17}	0.45	0.51	53.6	18.7	27.7	0.47	1.05
	19	Es ₄	1.18	0.36	C_{17}	0.35	0.31	53.4	18.2	28.4	0.53	0.22
	17	Es ₄	0.62	0.06	C_{24}	0.27	0.30	61.3	8.6	30.0	0.184	—
东 濮	32	Es ₃	0.98	0.51	C_{16}	0.49	0.58	35.4	26.9	37.6	0.18	1.56

(二) 多环芳烃及含硫化合物的分布

表3为不同系列化合物的相对含量。在计算过程中均以质量色谱图上各个化合物的分子离子峰为准进行积分, 这样计算可能带来一些误差, 只能基本上反映各个化合物的

时含量。从表3可以看出,根据蔡、菲、二苯并噻吩等主要系列的含量,可大体上把所研究的样品分为几种类型:

表3 盐湖相原油和生油岩芳香族化合物组成特征

地区	样号	岩性	%											%			%			ΣDBT	$\Sigma N + \Sigma P$
			蔡	菲	蒽	联苯	茚	二苯并噻吩	二苯并噻吩	二苯并噻吩	二苯并噻吩	二苯并噻吩	二苯并噻吩	ΣF	ΣDBF	ΣDBT	ΣN	ΣP	ΣDBT		
江汉	4	含膏泥岩	9.59	65.08	53.07	20.33	1.35	13.77	0.0	0.0	0.67	0.0	0.0	2.13	8.72	89.15	10.87	4.51	5.6	0.18	
	33	原油	54.2	10.6	0.66	3.25	2.43	4.02	24.38	0.0	0.0	0.18	0.0	7.88	13.07	9.1	60.8	11.8	27.34	0.37	
	J	原油	15.1	3.5	2.71	0.0	0.0	0.0	8.75	0.0	69.97	0.0	0.0	0.0	0.0	100	55.2	12.8	32.02	0.47	
晋县	41	原油	1.83	3.82	0.27	0.07	2.1	0.88	79.8	0.0	10.74	0.51	0.0	2.54	1.07	96.4	2.14	4.47	93.4	14.1	
	19	含硫膏泥岩	2.68	1.64	0.06	0.13	1.24	0.33	85.99	0.0	7.92	0.0	0.0	1.42	0.38	98.2	2.96	1.81	95.21	19.0	
	R	白云岩	2.98	4.88	0.19	0.21	2.18	0.16	80.3	0.25	8.28	0.24	0.21	0.11	2.64	0.20	97.17	3.38	5.53	91.08	10.1
	17	油页岩	23.7	15.4	0.19	3.2	1.69	4.89	49.0	0.17	0.0	0.0	0.53	0.48	3.04	8.79	88.17	26.8	17.4	55.6	1.22
东濮	32	原油	17.1	59.3	6.95	1.88	5.07	0.0	6.34	0.72	0.0	0.44	0.28	1.92	44.4	0.05	55.58	20.7	71.6	7.67	0.08
	C	煤	7.98	58.85	2.2	0.54	6.64	5.28	8.92	2.58	0.0	1.28	0.6	2.63	24.6	28.0	47.3	10.5	77.7	11.78	0.14
大庆	D	原油	26.6	56.27	5.24	2.53	0.99	2.91	0.36	0.0	0.0	0.43	0.0	39.4	15.4	45.3	31.0	65.6	3.39	0.035	
墨西哥	M	原油	9.02	54.71	1.75	2.32	1.36	0.22	29.6	0.38	0.0	0.0	0.7	0.0	4.4	0.79	94.9	9.66	58.6	31.7	0.47

1. 富含菲系列的原油、生油岩和煤

菲系列的含量大于50%,可举东濮原油为代表,还有江汉盆地新沟嘴组的含膏泥岩。以蔡、菲和蒽等稠环芳烃系列为主,含硫化合物一般少于10%。这种分布特征也见于淡水湖相的大庆原油和淡水沼泽相的煤,具有相当普遍的意义。

2. 以二苯并噻吩类等含硫化合物为主的原油和生油岩

可举晋县凹陷的样品为代表。含硫化合物的总量大于90%,而蔡、菲、蒽等系列化合物含量很低。图5为赵心2井含硫膏泥岩芳烃总离子流图,二苯并噻吩呈规律性分布,侧链烷基的碳数为 C_1-C_8 ,以 C_2-DBT 为主峰,自 C_4 以上DBT含量明显降低。

晋县原油和生油岩芳烃馏分中富含硫化芳烃,可能与特定的沉积环境有关。沉积阶段和成岩早期阶段,在硫酸盐还原菌作用下,本区大量存在的硫酸盐被还原,产生活性硫和 H_2S ,致使有机质被硫取代而形成有机硫化物。这是一种以微生物为媒介的有机-无机地球化学反应。值得提到的是该地区的钻探过程中,喷出了高含量的 H_2S 气体, (其含量高达4656mg/m³,在所喷出的气体中占95%以上);在生油岩表面见有结晶硫析出;族组分中芳烃馏分可达60%,且多为硫化芳烃。此外,墨西哥白垩系海相原油和江汉盐湖相原油和生油岩,二苯并噻吩类的含量也较高(10—30%,表3)。

3. 以长链烷基噻吩和四氢噻吩类为主的原油

江汉油田的原油样品,含硫量高达10%,富含烷基噻吩和烷基四氢噻吩,表现出以下分布特征,

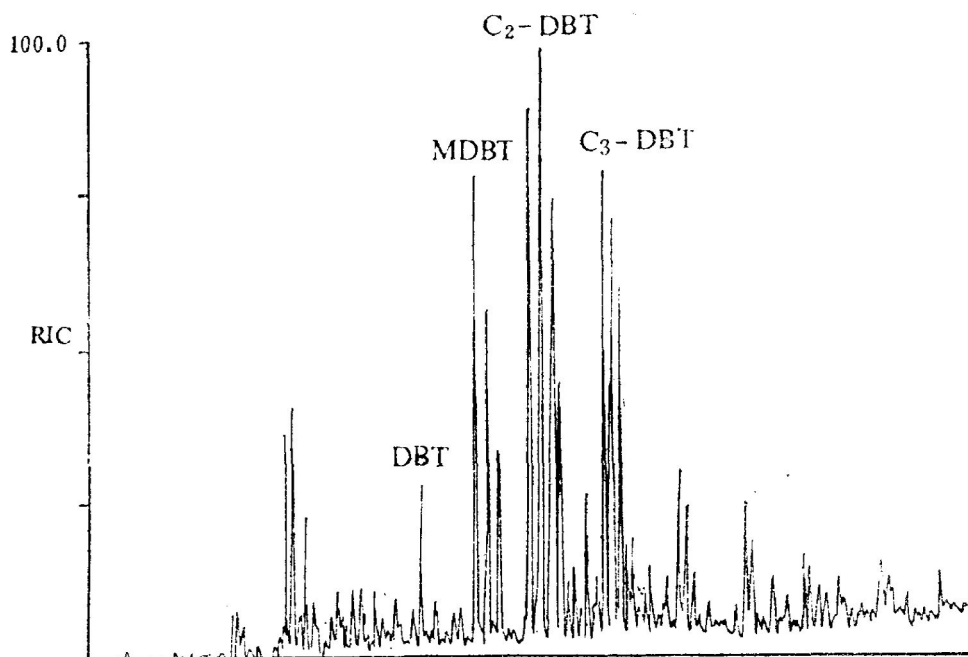


图5 河北晋县含硫膏泥岩中芳烃总离子流图

(1) 烷基噻吩类的 m/z 111质量色谱表明, 该系列化合物分布与一般正构烷烃分布相似, 且 C_{14} 以上显示出明显的偶碳优势。其最小分子为 $C_{10}H_{16}S$ (图2)。由于扫描范围所限, 高碳数组分 ($>C_{22}$) 没有展示出来。在 m/z 139和 m/z 153谱图中, 可见同一个化合物常有2—4个异构体存在。烷基四氢噻吩的 m/z 101质量色谱图 (图3) 表明: 最小分子为 $C_{10}H_{20}S$, C_{14} 以上也具有偶碳优势; 也有异构体存在。

(2) 2, 3-二甲基-5-(2, 6, 10-三甲基十一烷基)-噻吩 (分子式 $C_{20}H_{22}S$, 基峰 m/z 125), 在总离子流图中呈奇峰突起 (图2中化合物A), 这与饱和烃色谱中植烷优势有对应关系。S. C. Brassell等在研究沉积物及石油中含硫化合物时也发现具有 C_{14} 类异戊二烯烷基侧链的 C_{20} -噻吩类的优势, 并指出该类化合物主要是硫与叶绿素侧链植醇的反应产物^[6]。J. S. Sinninghe Damsté等在意大利膏盐地层泥灰岩中也发现含硫化合物具有 C_{20} 烷基噻吩的优势^[3]。因此, 该类化合物有可能作为膏盐沉积的特征标志化合物。尽管其确切的形成机理尚待查明, 但其形成必须依靠丰富的 H_2S 和 S , 是可以肯定的。

综上所述, 几种不同的盐湖相原油和沉积岩中芳烃和含硫化合物的组成具有较大的差别。晋县样品富含二苯并噻吩类化合物, 而江汉样品则以长链烷基噻吩和四氢噻吩类为特征。至于东濮凹陷原油, 其含硫量低, 以蔡、菲和蒽等稠环芳烃为特色, 与陆相淡水湖盆所形成的原油相似。看来, 这些差别反映了成油母质、沉积环境和成岩条件上的区别。W. L. Orr提出了一种新的富含硫的干酪根类型 (I-S), 并假设高硫原油来自这种干酪根^[7]。我们认为盐湖沉积环境, 硫酸盐高, 利于硫酸盐细菌大量繁殖。所产生的硫化氢和元素硫, 与有机质相互作用, 生成硫醇及其他含硫有机质, 部分进入干酪根, 使得盐湖相形成的可溶有机质和干酪根比普通淡水湖相的可溶有机质和干酪根更富含硫。硫原子的大量存在使得这种高硫干酪根的热稳定性比一般干酪根差, 易于在较低温

度下产生大量有机硫化物。因此,由硫型干酪根形成的可溶有机质富含芳烃馏分、非烃和沥青质,而饱和烃的含量较低,常表现出低熟特点。此外,不同地区母质输入及其成岩作用过程中微生物作用的差别,会形成不同类型的高硫干酪根,从而导致原油和生油岩中硫化芳烃不同。东濮凹陷在成油过程中,可能由于硫酸盐菌的活动较弱,干酪根中硫的含量较少,以致原油中的芳烃不是以硫化芳烃为主,而是以萘、菲和蒽等系列为主。

(三) 三芴系列化合物的分布

这里我们从芴、二苯并呋喃(氧芴)、二苯并噻吩(硫芴)三个系列化合物的内组成关系上进一步讨论其地球化学意义。这三个系列化合物的基本骨架相似,只是后两者五元环中的一个碳原子分别被氧、硫所取代。我们认为它们来源于同一先质,而反映着不同沉积环境。图6表明,这三个系列化合物的内分布有一定的规律性。其中,二苯并噻吩大于70%者,见于江汉、华北晋县和海相沉积环境。东濮原油的二苯并噻吩含量较低,芴含量较高,分布在另一区域,大庆原油也具有这一特征,它们代表着淡水、半咸水还原环境。而在弱酸性、弱氧化的沼泽环境下

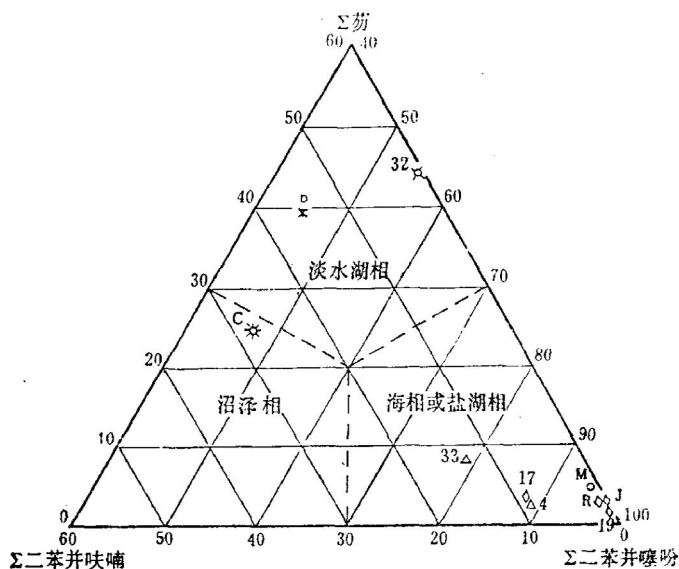


图6 芴、二苯并噻吩和二苯并呋喃系列内组成三角图

形成的煤,其二苯并呋喃含量较高。因此,三芴系列相对含量的变化,有可能作为沉积环境指标。

(四) 有机质成熟度对某些芳香族化合物分布的影响

芳香族化合物的分布除了受到沉积环境和有机质类型的影响外,还受到有机质演化程度影响。表4是参考前人的研究成果而计算出来的成熟度参数值,其原理是:

1. α 位甲基萘的热稳定性比 β 位甲基萘差。R. Alexander等在研究不同时代原油和生油岩时观察到 $\alpha\alpha$ -二甲基萘与 $\alpha\alpha\beta$ -三甲基萘的含量随着成熟度的增加而减少^[8]。

2. 地质体中存在着甲基菲的四个不同异构体。随着热作用的增加,它们发生重排或烷基化反应,由9-和1-甲基菲生成热力学稳定的2-甲基菲和3-甲基菲^[9]。

3. 一些研究者观察到4-甲基二苯并噻吩相对1-甲基二苯并噻吩随着成熟度增加而增加。

萘系列的MNR、DNR1和甲基二苯并噻吩的MDR等指标的变化与 C_{29} 正常甾烷的 $20S/(20S+20R)$ 相关性较好,MNR和MDR随着成熟度的增加而增加,DNR1随着成熟度的增加而减少。可见,这些参数可以作为新的成熟度标尺。但是菲系列的各个指标(MPI₂,MPR等)并不随着甾烷异构化而呈现有规律变化,即与有机质成熟度无相

表4 芳香族化合物参数

地区	样号	萘			二 苯 并 噻 吩						菲						
		MN-R	DNR	DNR ₁	MD-R ₁	MD-RI	MDR ₂	MDR ₁	MDRT-I ₁	MDRT-I ₂	MP-R	MP _{I1}	MP _{I2}	MPR ₁	MP-R ₂	MPR ₃	MPR ₄
江 汉	4	1.08	5.59	0.92	0.93	1.55	1.01	1.65	1.05	0.96	1.35	0.86	1.17	0.74	0.0	0.47	0.82
	33	0.98	7.79	1.66	0.31	0.23	0.15	0.73	0.30	0.43	1.69	0.52	0.6	0.18	0.3	0.22	0.31
	J	1.15	20.9		1.5	0.91	0.3	0.61	0.95	1.33	0.98	0.43	0.49	0.22	0.22	0.17	0.13
晋 县	11	1.59	5.78	0.92	1.57	1.27	0.88	0.81	1.19	1.27	1.65	0.45	0.53	0.26	0.44	0.31	1.25
	19	1.18	6.86	0.99	3.35	2.55	1.94	0.76	1.82	1.66	2.24	0.42	0.49	0.09	0.2	0.13	0.11
	R	0.92	5.82		1.18	1.56	1.5	1.32	1.21	1.08	1.52	0.55	0.68	0.25	0.38	0.24	0.43
	17	0.83	10.53	1.03	0.76	0.22	0.18	0.29	0.42	0.86	1.17	0.19	0.19	0.08	0.1	0.1	0.43
东 濮	32	1.10	5.71	0.77	7.51	2.14	0.61	0.28	2.18	0.08	0.81	0.55	0.63	0.6	0.48	0.37	0.71
	C	2.25	8.43		7.19	0.9	0.76	0.13	1.32	1.87	1.40	0.82	0.96	0.44	0.61	0.44	0.47

$$(1) \text{MNR} = \frac{2\text{-甲基萘}}{1\text{-甲基萘}}, \quad \text{DNR} = \frac{(2, 6\text{-二甲基萘}) + (1, 7\text{-二甲基萘})}{1, 5\text{-二甲基萘}}, \quad \text{DNR}_1 = \frac{2, 6\text{-二甲基萘}}{1, 3\text{-二甲基萘}}$$

$$(2) \text{MDR} = \frac{4\text{-甲基二苯并噻吩}}{1\text{-甲基二苯并噻吩}}, \quad \text{MDR}_4 = \frac{4\text{-甲基二苯并噻吩}}{\text{二苯并噻吩}}, \quad \text{MDR}_2 = \frac{2\text{或}3\text{-甲基二苯并噻吩}}{\text{二苯并噻吩}}$$

$$\text{MDR}_1 = \frac{1\text{-甲基二苯并噻吩}}{\text{二苯并噻吩}}, \quad \text{MDBTI}_1 = \frac{(1.5 \times [(4\text{-甲基二苯并噻吩}) + (2\text{或}3\text{-甲基二苯并噻吩})])}{(\text{二苯并噻吩}) + (2\text{或}3\text{-甲基二苯并噻吩}) + (1\text{-甲基二苯并噻吩})}$$

$$\text{MDBTI}_2 = \frac{(4\text{-甲基二苯并噻吩}) + (2\text{或}3\text{-甲基二苯并噻吩})}{(2\text{或}3\text{-甲基二苯并噻吩}) + (1\text{-甲基二苯并噻吩})}$$

$$(3) \text{MPR} = \frac{2\text{-甲基菲}}{1\text{-甲基菲}}, \quad \text{MP}_{11} = \frac{1.5 \times [(2\text{-甲基菲}) + (3\text{-甲基菲})]}{(\text{菲}) + (1\text{-甲基菲}) + (9\text{-甲基菲})}$$

$$\text{MP}_{12} = \frac{3 \times (2\text{-甲基菲})}{(\text{菲}) + (1\text{-甲基菲}) + (9\text{-甲基菲})}, \quad \text{MPR}_1 = \frac{1\text{-甲基菲}}{\text{菲}}, \quad \text{MPR}_2 = \frac{2\text{-甲基菲}}{\text{菲}}$$

$$\text{MPR}_3 = \frac{3\text{-甲基菲}}{\text{菲}}, \quad \text{MPR}_4 = \frac{9\text{-甲基菲}}{\text{菲}}$$

关关系。前人提出的菲系列成熟度参数^[9]及其适用范围还应作进一步研究。

致谢: 在取样过程中得到程克明、梁狄刚和江继纲等的大力支持, 芳烃和硫化芳烃的鉴定是在王培荣等检测和研究的的基础上进行的, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] Payzant, J.D. et al., 1986, Org. Geochem., Vol.9, No.6, P.357-369.
- [2] Sinninghe Damsté, J. S. et al., 1987, Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol.51, P. 2369-2391.
- [3] Sinninghe Damsté, J. S. et al., 1986, Org. Geochem., Vol. 10, P.791-805.
- [4] 黄第藩等, 1984, 陆相有机质演化特征和成烃机理, 石油工业出版社.
- [5] 梅博文等, 1980, 石油与天然气地质, 第1卷, 第2期.
- [6] Brassell, S. C. et al., 1986, Nature, Vol. 320, P.160-162.
- [7] Orr, W. L., 1986, Org. Geochem., Vol.10, P.499-516.
- [8] Alexander, R., 1986, Org. Geochem., Vol. 10, P.841-845.
- [9] Radke, M. et al., 1982, Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol.46, P.1831-1843.

THE DISTRIBUTION OF AROMATICS AND SULPHUR-BEARING AROMATICS IN OIL AND SOURCE-ROCKS FROM SALINE LAKE FACIES

Pan Zhiqing Huang Difan

(*Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing*)

Lin Renzi

(*Jiangnan College of Petroleum*)

Abstract

Aromatics and heterocyclic compounds of crude oils and source rocks from Tertiary saline facies of Jiangnan Basin in Hubei, Dongpu Depression of Henan and Jinxian Sag of Hebei have been identified by GCMS technique. Crude oil of the Dongpu Depression is rich in phenanthrene, naphthalene and chrysene, and is similar to that of fresh water lake facies; the crude oil and source rocks of the Jinxian Sag are dominant in dibenzothiophene, and highly sulfur-bearing oil from the Jiangnan Basin is characterized by abundant long-chain alkylthiophene and thiolanes. The relative composition of fluorenes, dibenzofurans and dibenzothiophenes may be used as good markers of depositional environment. Finally the article discusses the relation between some indexes of aromatics and maturity of crude oil.