

原油中类异戊二烯烷烃的地球化学特征

王有孝 程学惠 吴贻华 张 谦*

(中国科学院兰州地质研究所)

在原油和沉积岩中,广泛存在着类异戊二烯烷烃。它们是一种生物标记化合物,是异构烷烃的重要组成部分。原油中这类化合物的存在是石油有机成因的重要依据。由于成油环境及其生油母质的差异,原油和沉积岩中类异戊二烯烷烃的分布特征也有所不同,所以,在有机地球化学研究中,目前主要应用于油源对比^[1]和成油环境的探讨^[2]。在我国各类沉积盆地中,往往具有多套生、储、盖组合,因此研究原油中类异戊二烯烷烃的地球化学特征,具有一定的意义。

本文测定了我国一些原油中类异戊二烯烷烃——姥鲛烷和植烷的含量,对不同地区或油田原油中类异戊二烯烷烃的组合特征及原油次生变化对该组合特征的影响等问题进行了初步研究。

一 分析方法

原油样品不经分离直接注入气相色谱仪进行分析,得“全烃”色谱图(图1)。图1-1为岭254井原油色谱图,图1-2为准噶尔盆地检乌1井原油饱和烃经二次尿素络合,除去正构烷烃后所剩余的异构-环烷烃馏分色谱图,主要显示①—⑦号色谱峰。依据文献资料 and 标准样品(姥鲛烷)标定,①—⑦号色谱峰确定为:①——异十三烷,②——异十四烷,③——法呢烷,④——异十六烷,⑤——异十八烷,⑥——姥鲛烷,⑦——植烷。⑧号色谱峰为异二十一烷,在“全烃”色谱图上和 $n-C_{19}$ 峰相重合^[2]。

原油中类异戊二烯烷烃的相对峰值均在“全烃”色谱图上测得,为了便于比较,我们以植烷作为对比的基础,求出①—⑥号峰与⑦号峰(即植烷)的比值,作相对峰值图。

岩样的分析,是把样品粉碎至80目以下,然后用氯仿在索氏抽提器中抽提,抽提物在硅胶-氧化铝(4:1)色谱柱上分离后进行气相色谱分析。处理样品过程中所使用的各种溶剂,都经过蒸馏和硅胶色谱柱处理,并用气相色谱进行了鉴定,以排除可能的外界污染。

姥鲛烷的定量测定是将姥鲛烷与 $n-C_{13}$ 烷配成标准样品,原油也用正十三烷按一定的比例稀释,然后在相同的分析条件下进行测定,计算出姥鲛烷的重量百分含量。植烷

* 参加该项工作的还有申兰岚等同志。

1) D.H.韦耳特, 1966, 原油对比问题。中国科学院地球化学研究所译, 1972年。

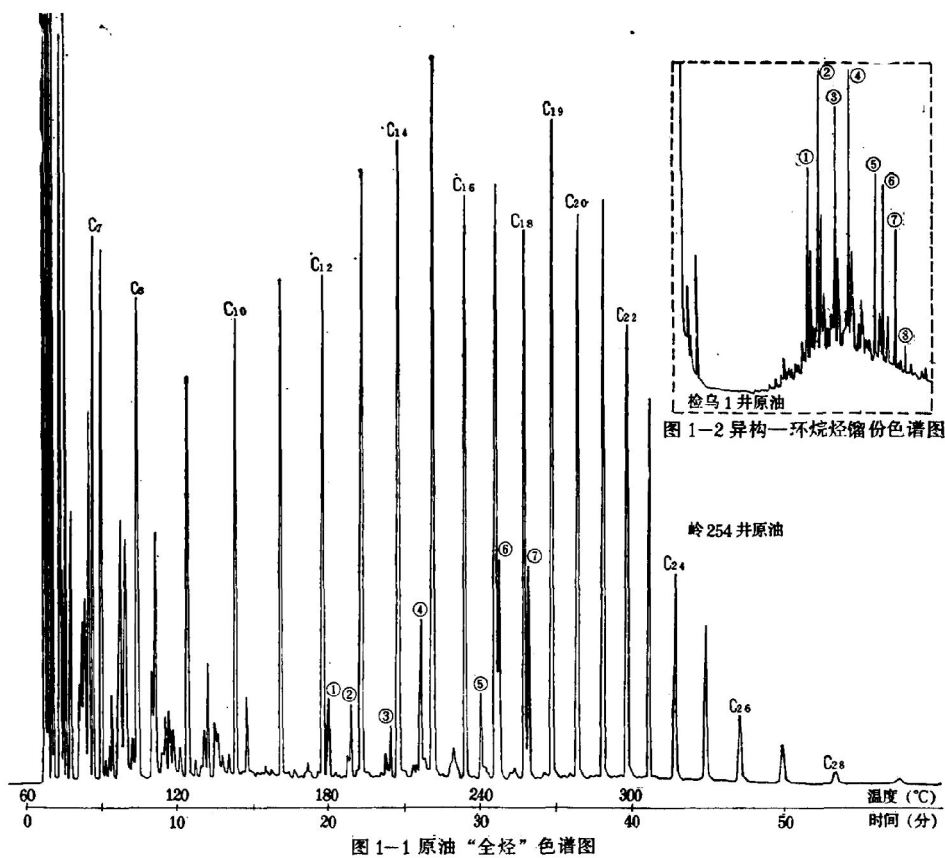


图1 原油“全烃”色谱图和异构一烷烃馏份色谱图

的含量是利用姥鲛烷与植烷的比值求得的，同一样品两次分析的相对误差一般不超过4%。

原油和沉积岩饱和烃样品是在带氢火焰离子化鉴定器的GCG—5DH气相色谱仪上分析的，U型不锈钢色谱柱：长6米，内径3毫米；固定液：5%甲基乙烯基硅酮（SE—31）；担体：白色硅藻土（Celite），80—100目；载气：氮，柱前压为3.5公斤/厘米²；起始温度：60℃，样品注入后以6℃/分程序升温至300℃恒温。

二 姥鲛烷和植烷的含量分布

姥鲛烷（2、6、10、14—四甲基十五烷）和植烷（2、6、10、14—四甲基十六烷）是类异戊二烯烷烃系列中的两个重要成分。表1列出了所测九个原油样品的姥鲛烷与植烷含量分析数据。由表可知：不同油组的原油，姥鲛烷与植烷的总含量相差较大，如鄂尔多斯盆地，综合地球化学资料可划分为三个油组，其层位分别为侏罗系延4层

至延8层 (J_{y4-8}); 侏罗系延9层至三叠系 ($J_{y9}-T$); 二叠系 (P)。各油组间姥鲛烷与植烷的总量最大相差2.7倍。同一盆地相同油源的原油中, 其姥鲛烷和植烷的含量是近似的, 如酒西盆地, 该盆地油源岩确定为下白垩统新民堡群 (K_{1x}), 其储油层分别为新民堡群 (K_{1x}) 和志留系 (S), 两个不同储油层系的原油中姥鲛烷和植烷的含量基本一致。

在我们所测定的原油中, 姥鲛烷和植烷总量的变化范围, 一般为0.38—1.53% (重量), 其中华北地区的任72井原油比较特殊, 在“全烃”色谱图上, 因降解作用轻质组分较少, 主峰位于 $n-C_{12}$, 植烷峰高为 $n-C_{18}$ 的2.04倍, 姥鲛烷和植烷的总量可达4.79%。

表1 原油中姥鲛烷与植烷的含量

地 区	井 号	储 层 时 代	含量% (重量)		总量%
			姥鲛烷	植 烷	
渤海湾地区	52	Es_1	0.46	0.47	0.93
	213	Es_4	0.39	0.23	0.62
鄂尔多斯盆地	131	J_{y8}	0.47	0.41	0.88
	16	T_3	0.55	0.48	1.03
酒西盆地	探1	P	0.32	0.06	0.38
	503	K_{1x}	0.65	0.74	1.39
华北地区	114	S	0.70	0.83	1.53
	11	ϵ	0.72	0.24	0.96
	72	ϵ	1.02	3.77	4.79

三 类异戊二烯烷烃的组合特征

根据我国不同地区或油田、不同时代原油样品的分析结果, 类异戊二烯烷烃相对峰值 (以植烷作为1) 的组合特征, 初步可划分为五种不同的类型 (图2), 分析资料列入表2。现将各种组合类型的基本特征简述如下:

第I组合类型: 姥鲛烷与植烷的比值 (以下简称姥植比) 很高, 为2.64—6.35, 类异戊二烯烷烃系列的分布曲线起伏较大。

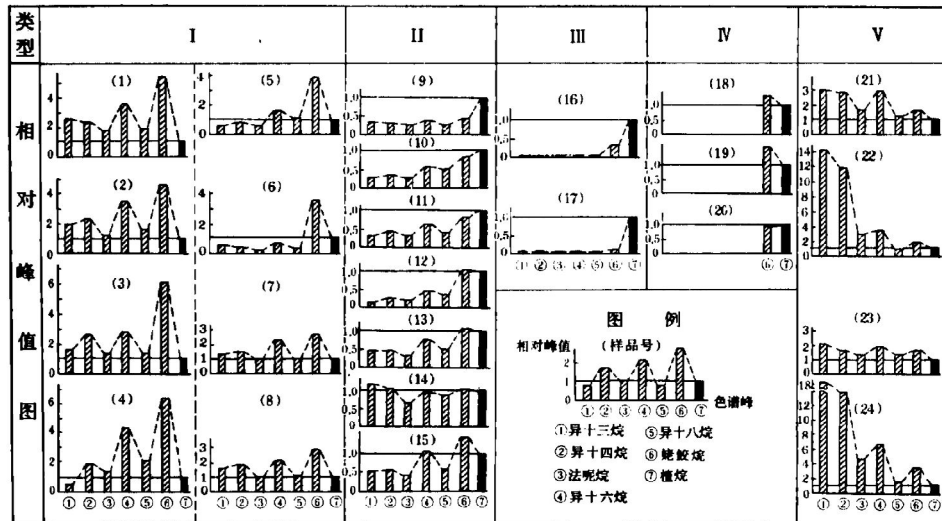


图2 原油中类异戊二烯烷烃的组合特征

表2 我国原油中类异戊二烯烷烃相对峰值

类型	地区	样品 编号	井号	层位	相对峰值						备注
					①/⑦	②/⑦	③/⑦	④/⑦	⑤/⑦	⑥/⑦	
I	台湾新竹	(1)		N	2.64	2.36	1.76	3.55	1.82	5.36	大庆石油规划院分析结果
	鄂尔多斯盆地	(2)	探1井	P	2.09	2.40	1.26	3.65	1.72	4.63	
	北部湾	(3)	福5井	E	1.66	2.74	1.40	2.84	1.35	6.18	
	湖南	(4)		T ₃ -J ₁	0.55	2.00	1.50	4.35	2.15	6.35	
	民和盆地	(5)		J ₂	0.56	0.79	0.68	1.64	1.07	3.82	
	柴达木盆地	(6)	冷中14井	J ₂	0.62	0.34	0.14	0.69	0.28	2.90	
	华北地区	(7)	坝24井	ε	1.33	1.56	0.94	2.28	0.94	2.64	
	北部湾	(8)	2井	E	1.63	1.88	1.00	2.15	1.13	2.85	
II	三水盆地	(9)	南2井	E	0.33	0.41	0.25	0.38	0.30	0.55	
	酒泉西部盆地	(10)	503井	K ₁ x	0.26	0.33	0.27	0.57	0.51	0.86	
	苏北盆地	(11)	59井	E	0.39	0.47	0.38	0.68	0.43	0.88	
	河南	(12)		E	0.13	0.25	0.21	0.45	0.35	1.04	
	鄂尔多斯盆地	(13)	岭12井	I	0.43	0.43	0.31	0.78	0.49	1.06	
	准噶尔盆地	(14)	5井	P	1.15	1.05	0.66	0.93	0.87	1.04	
	松辽盆地	(15)		K	0.55	0.57	0.40	1.08	0.68	1.42	
	柴达木盆地	(16)	中1井	N ₁	0.024	0.028	0.040	0.060	0.048	0.33	
III	江汉盆地	(17)	广54井	E	0.040	0.060	0.050	0.080	0.060	0.14	
	准噶尔盆地	(18)		T						1.44	
	北部湾	(19)	2井	N						1.74	
	辽河盆地	(20)	52井	E						0.88	
V	塔里木盆地	(21)	参1井	N	3.00	2.79	1.71	3.12	1.21	1.71	四川石油管理局化验室分析结果
	辽河盆地	(22)	213井	E	14.04	11.88	2.81	3.44	0.81	1.75	
	四川盆地	(23)	通6井	J	2.04	1.70	1.22	1.85	1.26	1.56	
	大港	(24)	白8井	E	18.04	13.92	4.46	6.43	1.43	2.38	

注: ①—异13烷; ②—异14烷; ③—法呢烷; ④—异16烷; ⑤—异18烷; ⑥—姥鲛烷; ⑦—植烷。

第I组合类型: 姥鲛烷和植烷相对含量较高, 姥植比为0.55—1.42, ①—⑤各色谱峰的相对峰值, 多数都小于1。

第II组合类型: 植烷占显著优势, 姥植比 <0.5 , ①—⑥色谱峰相对峰值一般 <0.5 。

第IV组合类型: 为遭受次生变化而降解了的原油或低成熟度原油, 在色谱图上主要显示姥鲛烷和植烷色谱峰, 正构烷烃峰值都很低。

第V组合类型: 一般为轻质原油和凝析油的组合特征, 其异13烷、异14烷峰值显著增高。

I 类型高姥植比的原油,分布在石炭纪(鄂尔多斯盆地二叠系、华北地区古生界原油的油源岩,根据研究分别属中、晚石炭世和第三纪)、侏罗纪和第三纪地层中。其余低姥植比的原油,自二叠纪至第三纪各地层中均有分布。

从我们所分析的岩样来看,鄂尔多斯盆地古生界海相灰岩、白云岩的28个分析结果中,有18个样品的姥植比为0.27—0.86,10个样品的姥植比为1.01—1.96,而海陆交互沉积的中、上石炭统含煤地层中,泥岩的姥植比显著增高,一般为1.78—3.40。侏罗系煤系地层的泥岩中,姥植比可达6.18。在北部湾福山凹陷沼泽相沉积的下第三系中,生油岩姥植比3.93—6.76,原油姥植比为6.18。东北抚顺煤矿第三系中6个样品的分析结果,也提供了这方面的资料。6块样品分布在约70米的一段剖面上,其中有两个油页岩样品,3个煤样品和一个煤层下的灰色泥岩(表3)。7802、7803为煤层和油页岩分界面上下的两个样品,煤层中部的7804号煤样含泥质较高。图3为5块样品的饱和烃分析结果。此外7803号煤样只是在相当于 $n-C_{10}$ — $n-C_{22}$ 狭窄区间,显示一组色谱峰(尚未进行定性鉴定,因此在图中未标出)。油页岩异构-环烷烃馏分色谱图中,姥植比为1.77和1.85;煤样则显著增高至44.60和14.80;灰色泥岩则降为0.28。除灰色泥岩外,四块样品正构烷烃色谱图上都显示出奇数碳占很大的优势。在这样一段约70米的剖面上,沉积岩有机质中正构烷烃分布曲线和类异戊二烯烷烃相对峰值,都发生了显著变化,在陆生植物为主的成煤环境中显示了更高的姥植比(表3)。此外,我国其它一些地区煤样饱和烃馏分色谱分析结果也一并列入表内。这些典型样品的分析结果,可作为我们研究高姥植比原油形成环境的一个依据。

I、V组合类型,包括了我国主要油气田或某些地区高产油气井原油中类异戊二烯烷烃的组合特征。为淡水—微咸水盆地中形成的原油。II类型原油姥植比一般小于1.50。V组合类型原油中,低碳数类异戊二烯烷烃相对含量显著增加。这种变化,有的

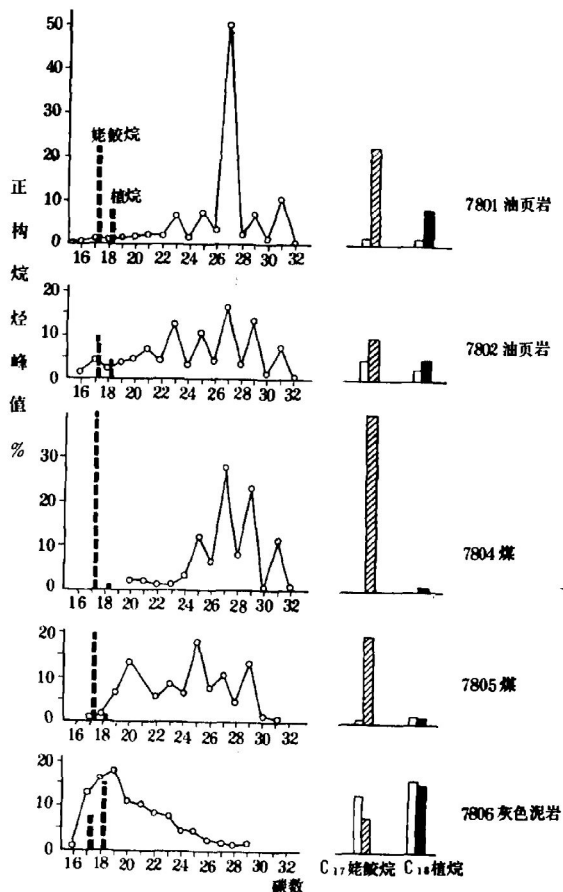


图3 抚顺煤矿样品饱和烃中正构烷烃、姥植烷、植烷分布图

与原油的成熟度有关。大港油田板桥凹陷4个原油样品和3个凝析油样品的色谱分析结果列入表4。由表可知,7个油样的姥植比和异十八烷与姥烷的比值基本一致。但深度较大的凝析油中,低碳数类异戊二烯烷烃相对峰值的显著增加和油样中正构烷烃轻质组分的富集相一致(图4,4—1为凝析油和原油中正构烷烃的分布范围,4—2为类异戊二烯烷烃相对峰值平均值分布图)。

表3 样品饱和烃色谱分析结果

地 区	样品名称	编 号	层 位	姥烷/植烷	n-C ₁₇ /姥烷	n-C ₁₈ /植烷	备 注
				姥烷/植烷	n-C ₁₇ /姥烷	n-C ₁₈ /植烷	
东 北 抚 顺	油页岩	7801	R	1.77	0.076	0.13	姥植比为异构-环烷烃馏分色谱图上计算结果。
	油页岩	7802		1.85	0.049	0.57	
	煤	7803		/	/	/	
	煤	7804		44.60	/	/	
	煤	7805		14.80	0.046	1.03	
	灰色泥岩	7806		0.28	1.72	1.06	
四 川	煤	6-1094	J ₁	6.63	0.16	3.38	样品为煤炭部地质勘探研究所高菊芬等同志提供。
陕西黄陵	煤	10-1487	J ₁	10.30	0.063	0.84	
山西大同	煤	8-1109	J ₁₋₂	5.53	0.10	3.42	
甘肃靖远	煤	1-76	J	7.21	0.24	3.82	
江西安源	煤	3-155	T ₂	4.33	0.60	3.52	

表4 原油和凝析油“全烃”中类异戊二烯烷烃相对峰值

地 区	井号	井 段 (米)	层 位	相 对 峰 值						姥植比
				①/⑦	②/⑦	③/⑦	④/⑦	⑤/⑦	⑥/⑦	
大 港 油 田	821	2699.8—2708.4	Es ₁ 中	1.10	1.30	0.65	1.45	0.90	2.40	0.38
	9	2951.8—2959.6		1.08	1.39	0.76	1.61	0.87	2.72	0.32
	842	2787.6—2796.8		1.24	1.47	0.74	1.43	0.81	2.31	0.35
	365	2487.6—2512.4		1.14	1.45	0.60	1.39	0.82	2.57	0.32
	820*	2969.6—2974.2	Es ₁ 下	4.33	4.00	1.33	2.73	1.33	3.30	0.40
	8*	2977—2999		18.04	13.92	4.46	6.43	1.43	2.38	0.61
	885*	2975—3005		2.45	2.75	1.13	2.25	1.00	2.75	0.36

■组合类型,为半咸水-咸水沉积盆地内形成的石油。柴达木盆地半咸水沉积的第三纪原油姥植比为0.20—0.52。我国典型的江汉含盐盆地姥植比最低,其变化范围为0.08—0.19,个别为0.26。

综上所述,在我国不同类型、不同时代的沉积盆地中,类异戊二烯烷烃相对峰值I—V种组合类型出现的情况表明,对于类异戊二烯烷烃相对峰值组合特征的影响是多因素的。其中在沼泽相沉积或陆生植物为主的成煤环境中具有较高的姥植比。在半咸水-咸水

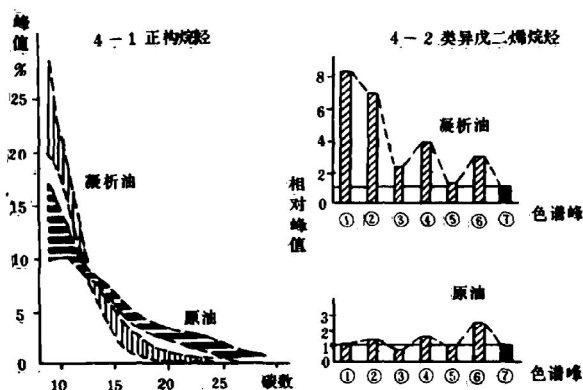


图4 大港油样“全烃”中正构烷烃和类异戊二烯烷烃分布图

沉积盆地内,有利于低姥植比原油的形成。

四 对有次生变化的原油中类异戊二烯烷烃特征的讨论

1. 原油轻组分散失时,类异戊二烯烷烃峰值保持相对稳定

在三水盆地,主要生、储油层系为下第三系埕心组(E_3b),该组自上而下划分为I—V油组,各油组原油中类异戊二烯烷烃的相对峰值略有差异。其中Ⅲ油组油层的埋藏深度,在宝3井为810.4—815.0米,在南2井为1280.6—1285.4米,相差约470米。在原油“全烃”色谱图上,宝3井原油由于保存条件较差, $n-C_{17}$ 以前的组分有不同程度的损失。两个油样显示出了完全不同的正构烷烃分布曲线,但从类异戊二烯烷烃的相对峰值来看,仍然是一致的(图5)。

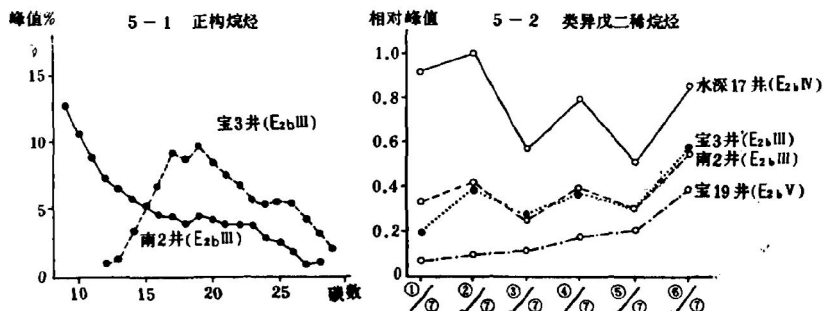


图5 三水盆地原油“全烃”分析结果

2. 微生物对原油的降解作用及类异戊二烯烷烃相对峰值的变化

准噶尔盆地克—乌油区的原油经杨斌、贺洪义同志研究,认为油源岩为盆地中部的二叠系,不同地区、不同层位原油“全烃”色谱图之间的差异,可与加拿大阿尔伯塔生物降解的重质原油色谱图进行对比。综合该区24个原油“全烃”色谱图中正构烷烃与异构烷烃的相对消长情况(以 $n-C_{18}$ 与植烷的比值来对比),可将原油划分为四种不同类型。图6为各类原油的典型色谱图,其主要特征如下:

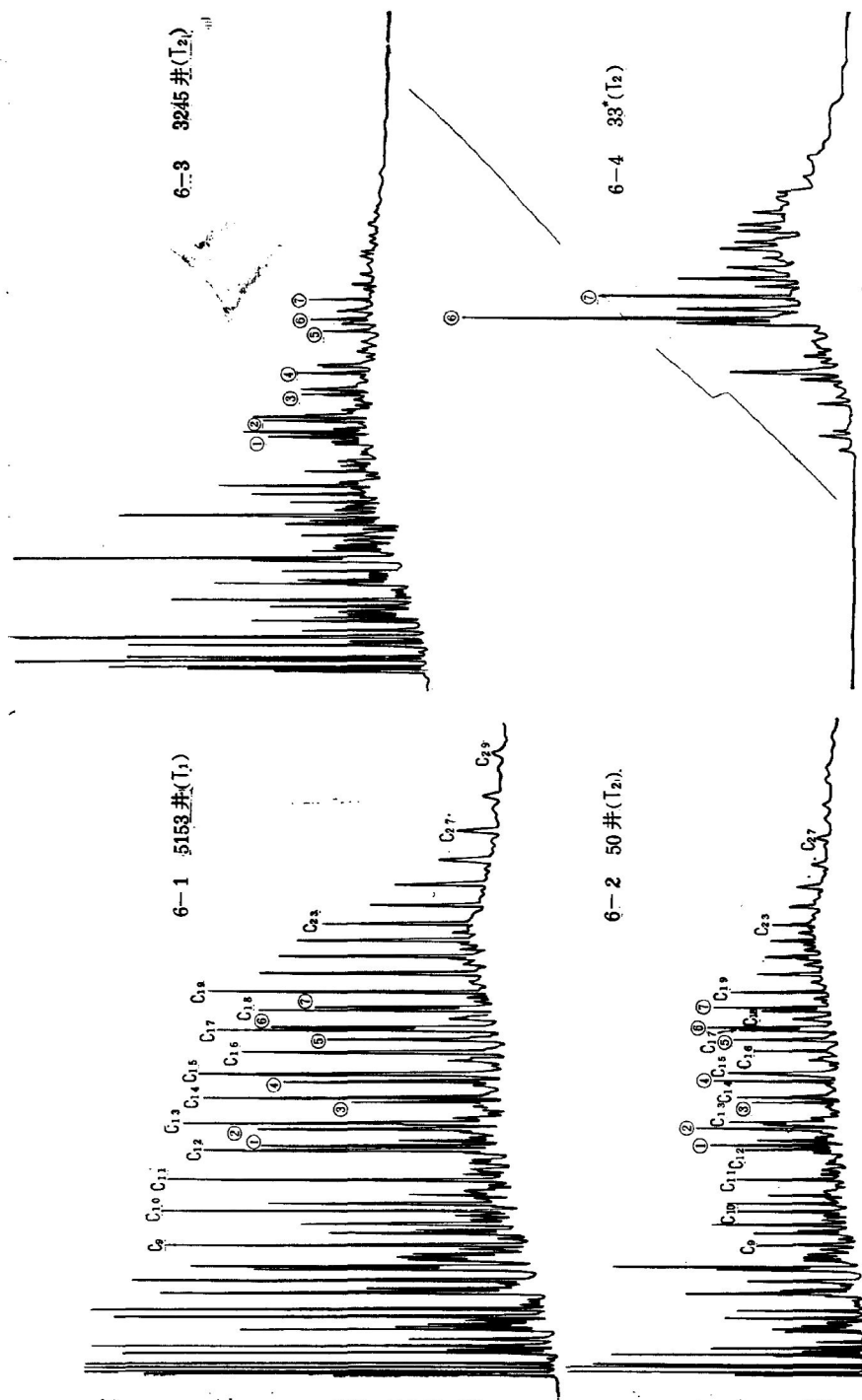


图 6 降解原油“全烃”色谱图
· 示地表样

1)为未经降解或初步降解的原油, $n-C_{18}/\text{植烷} > 1$, 正构烷烃峰值较高。从该区29井原油中有较高含量的正构烷烃 ($n-C_{18}/\text{植烷} = 2.38$) 来看, 这类原油有的也遭到了一定程度的降解 (图6—1)。

2)正构烷烃明显减少, $n-C_{18}/\text{植烷}$ 在0.5—1.0之间, 类异戊二烯烷烃显著增加 (图6—2)。

3) $n-C_{18}/\text{植烷} < 0.5$, 类异戊二烯烷烃更为突出, 正构烷烃几乎全部被降解 (图6—3)。

4)类异戊二烯烷烃部分遭受降解, 在图上主要显示姥鲛烷和植烷色谱峰 (图6—4)。

上述不同类型的原油, 构成了以细菌降解为主所形成各类原油“全烃”色谱图的一个系列。

我们分析了兰州大学生物系提供的细菌脱蜡前后的两个油样, 原料油是混合原油, 主要为 $n-C_{10}-n-C_{20}$ 的馏分, 凝固点 $+8^{\circ}\text{C}$ 。原料油加入解脂假丝酵母菌 (*Candida lipolytica*), 然后通入空气, 在 $30 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 条件下发酵两周, 过滤得脱蜡油及石油蛋白饲料。脱蜡油的粘度为 $-12-27^{\circ}\text{C}$, 比原料油一般下降 $20-30^{\circ}\text{C}$ 。脱蜡前后油样的色谱分析结果见表5、图7。

表5 细菌脱蜡油样中类异戊二烯烷烃相对峰值

样 品	相 对 峰 值				$n-C_{17}$ 姥鲛烷	$n-C_{18}$ 植 烷
	③/⑦	④/⑦	⑤/⑦	⑥/⑦		
原 料 油	0.44	0.97	0.70	1.25	3.55	3.69
脱 蜡 油	0.49	1.01	0.76	1.25	1.89	1.77

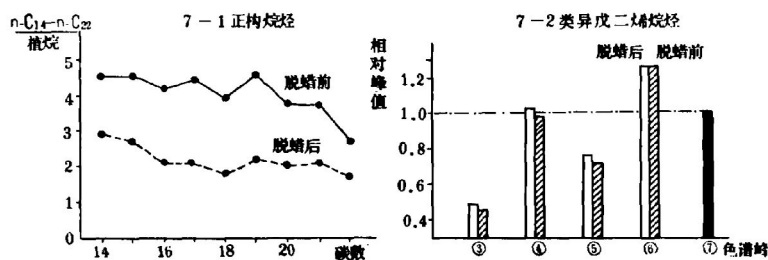


图7 原油 $n-C_{14}-n-C_{22}$ 馏分细菌脱蜡前后分析结果

在实验室的细菌脱蜡油样中, 由于降解程度不高, 正构烷烃虽然有明显下降, 但类异戊二烯烷烃相对峰值仍然是一致的 (表5、图7)。在克—乌油区原油中, $n-C_{18}/\text{植烷}$ 比值由1.31减少到0.12, 而姥鲛烷也随着降解程度的加深有所减小, 从1.25减小到0.98, 相差0.27。

上述资料表明, 在复杂的地质历史环境中, 原油轻组分的大量损失或者以微生物为主的降解作用 (至正构烷烃几乎全部消失), 对高碳数类异戊二烯烷烃相对峰值的影响较小, 仍可用来进行油源对比。但是, 正构烷烃相对峰值, 由于原油轻组分的散失或降解则变化较大。因此, 在利用正构烷烃分布曲线和用 $n-C_{17}/\text{姥鲛烷}$ 、 $n-C_{18}/\text{植烷}$ 等比值进行油源对比或生油环境探讨时, 必须确定原油是否已经历了降解作用。同时, 从类异戊二烯烷烃组合特征, 我们可以看到, 不同盆地、不同时代的原油中其相对峰值有的很接

近,亦即不同油源的原油,由于生油母质和生油环境的相似,其相对峰值的组合特征可以是近似的。因此,在多含油层系的盆地中进行油源对比等问题研究时要综合各种指标,加以分析判断。

结 语

1.我国一些地区原油中姥鲛烷与植烷的总含量一般为0.38—1.53%(重量),个别可达4.79%。

2.在不同时代、不同类型沉积盆地的原油中,类异戊二烯烷烃相对峰值,主要有五种不同的组合类型。

3.在复杂的地质历史条件下,原油轻组分大量损失或原油遭到微生物等降解后,正构烷烃变化较大,而高碳数类异戊二烯烷烃的相对峰值变化较小,仍可用于进行原油对比,但利用正构烷烃与类异戊二烯烷烃的比值进行原油对比和沉积环境探讨时,首先需排除原油降解损失正构烷烃的可能性。

范璞和林禾杰同志对本文提供了宝贵意见,在此表示感谢。

(收稿日期 1980年10月3日)

主 要 参 考 文 献

- [1] Powell, T.G., McKirdy, D.M., 1973, Relationship between ratio of pristane to phytane, crude oil composition and geological environment in Australia. *Nature*, Vol.243, No.124, P.37—39.
- [2] Illich, H.A., Haney, T.R., and Jackson, T.J., 1977, Hydrocarbon geochemistry of oils from Marañon Basin, Peru. *AAPG Bull.*, Vol.66, No.12, P.2103—2114.

THE GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF ISOPRENOID ALKANES IN CRUDE OIL

Wang Youxiao Cheng Xuehui Wu Yihua Zhang Qian

(Lanzhou Institute of Geology, Academia Sinica)

Abstract

The writers, applied the method of chromatographic analysis of hydrocarbon group in crude oil, have determined the content of pristane and phytane in crude oil from 20 distinct oil fields in our country, and a preliminary study of the character of isoprenoid alkane assemblages and the influence of the secondary alteration of crude oil to the character have been carried out. The total content of pristane and phytane ranges generally from 0.38—1.53%, and very few up to 4.78% by weight.

According to assemblage patterns, the relative peak values of isoprenoid alkanes can be classified into 5 types, firstly, the ratio of pristane to phytane is very high (2.64-6.35), the distribution curves of isoprenoid alkanes vary greatly; the second, the ratio (0.55-1.42) and the relative contents of pristane and phytane are still rather high; the third, the phytane is predominant, and the ratio of pristane to phytane is less than 0.50; the fourth, the crude oil with low maturity or subjected to the secondary alteration with degraded characteristics displays mainly the chromatographic peaks of pristane and phytane on the chromatogram; and the fifth, with the combination characteristics of light crude oil and condensate, the peak value of isotridecane and isotetradecane are apparently increased.

Finally, the influence of the secondary alteration of oil to the relative peak value of isoprenoid alkanes have also been discussed by the authors.

第二届全国数学地质学术讨论会在长沙举行

第二届全国数学地质学术讨论会于1981年4月21日至25日在湖南省长沙市举行。出席会议的有来自地质、冶金、建材、石油、高教、地震和中国科学院系统的代表近300人。

开幕式上,宣读了中国地质学会理事长黄汲清和国际数学地质协会主席E.H.T.惠顿的书面致词,还特邀陈国达教授作了关于地洼学说的学术报告,受到与会代表的热烈欢迎。

会议收到论文230篇。其中大会宣读19篇,小组宣读132篇。这些成果反映了我国数学地质工作各个方面的研究现状,涉及内容相当广泛,既有理论和方法的论述,也有解决实际地质、找矿问题的研究成果;既有分析本学科动态的文章,也有对于某些专门问题的精辟探讨。使与会代表大开眼界。会议根据“双百”方针,进行了充分的学术交流和讨论,开得生动活泼,气氛热烈。

矿产资源的定量预测是这次会议集中讨论的课题之一,有关论文的内容十分丰富。有的论述了矿床统计预测的基本理论,有的提出和介绍了预测的新方法,有大量论文涉及金属矿床的预测,还有许多涉及石油资源的预测,一些预测并经勘探验证效果良好。这些可喜的成果,极大地鼓舞了我国数学地质工作者继续做好矿产资源预测的信心。

岩石学和地球化学的数学地质研究与岩浆岩含矿性的研究,亦是本届会议讨论的重要课题。多元统计方法仍然是重要工具。从所宣读的论文可以看出,多元统计法无论是应用水平,还是研究深度和广度,都大大提高了一步。

自两年前在杭州举行的第一届全国数学地质学术讨论会以来,在以下几方面取得了明显的进展:

1.地质统计学有了很大发展。在上届会议上,仅有一两篇这方面的文章,本届会议增到16篇以上,而且研究水平也有了明显提高。

2.用数学地质方法研究沉积、地层、古生物问题的论文,也有了明显的增长。特别是解决地层对比和地层划分这两个重要问题的方法、程序和应用实例的文章,也逐步增多。

3.地质数据库的研究受到了极大的重视,这次会上宣读了较多这方面的文章。尤其值得庆贺的是,我国已开始了地质情报图书计算机检索服务工作。

4.数学模拟、模糊集论、逻辑信息法、有限元法、数量化理论、蒙特卡罗法、AID聚类分析等新方法,在本届会议上已见于许多论文中。

会上还提出了一些数学地质的新方法和新思路,引起了与会代表的极大兴趣,博得了代表们的好评。

会议通过民主协商,产生了中国地质学会数学地质专业委员会委员,正式成立了数学地质专业委员会。

(张洪年)