

柴达木盆地第三系油源对比

黄第藩 张大江 李晋超 黄晓明

(石油总公司石油勘探开发科学研究院)

周 翥 虹

(青海石油管理局勘探开发研究院)

提要 本文利用生物标记化合物,着重讨论了柴达木盆地第三系内陆盐湖相地层中的油源对比问题。主要应用甾烷的母源参数与成熟度参数相结合的方法,和油/岩综合指纹类型曲线对比法。查明了这组同时代但不同成熟度的原油,各有其相应成熟级别(未成熟、低成熟、成熟和高成熟)的源岩。表明它们是不同的成烃演化阶段的产物。研究证明,迄今柴达木盆地所找到的石油,大部分是低成熟的,而成熟和高成熟的油气资源还有很大的勘探前景。

主题词 生物标记化合物 油源对比 柴达木盆地 盐湖沉积 成熟度 油源岩

第一作者简介 黄第藩 男 56岁 高级工程师 有机地球化学

一 实验和样品

作为实验主要手段的色质分析,是在江汉石油学院王培荣教授的指导下,使用样品氯仿抽提物的饱和和烷馏分,在 Finnigan Mat TSO-45 型色谱-质谱-计算机联用仪上检测的。分析条件是: SE-54 石英弹性熔凝石英毛细柱,长 30 米,载气 He; 离化电压 70eV, 扫描范围 50—500m/z, 扫描速度 1.95 秒/次, 程序升温: 100—220℃为 4℃/分; 220—300℃为 2℃/分。

本文所选用的样品,采自柴达木盆地西部第三系始新统一上新统地层中,包括 19 个油样和 35 个岩样。采样点分布见图 1。此外,还从盆地东北部,冷湖、鱼卡油田采集了 4 个侏罗系油源油的样品,以兹比较。有关样品的基本情况及其两项重要地球化学参数见表 1。其中岩样 1—25 号为岩芯,其余均为岩屑。

二 地质背景

柴达木盆地是一个典型的第三纪内陆盐湖相沉积盆地,其主体位于盆地西部,湖相沉积面积 30000Km², 地层厚度 7000m。盆地西部自始新世以来,湖水渐趋咸化,并表现为两个咸化旋回(始新世—渐新世早期; 渐新世中期—上新世晚期),每一旋回的晚期都有很厚的石膏、盐岩沉积。因此,这套第三系是由泥岩,钙质泥岩和泥灰岩夹粉砂岩和石膏、盐岩层所组成,平均有机碳含量为 0.4—0.6%,富含碳酸盐。

第三纪时,柴达木盆地气候干燥,水流对湖泊的补给较弱,特别是中新世中期以后,湖水咸化的趋势日趋明显。在沉积相的展布上,其特点是在湖盆边缘发育有一系列冲积扇,而中部则以泥岩、泥灰岩、粉砂岩和盐类沉积为主,油气的储集条件发育不佳。盆地中发育了一系列北东向的构造,它们主要形成于上新世晚期,也正是由于这次构造运动,在盆地中造成了较为发育的由

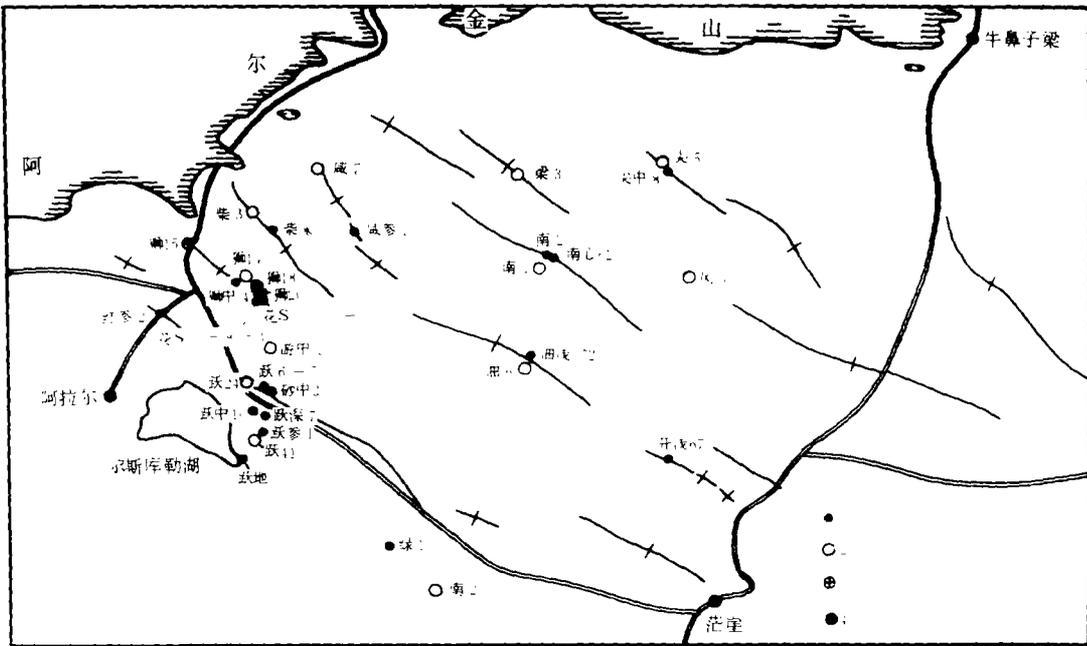
表 1. 岩样、油样基本地质、地化参数表

Tab.1 Basic Geological Indicators of rock and crude oil samples

样号	井号	层位	井段 (m)	C_{29aa}		样号	井号	层位	井段 (m)	C_{29aa}	
				S/S+R	aaa-R C					S/S+R	aaa-R C
1	跃 41	N_1^2	2318	0.135	1.48	S3	狮深 20	N_1	2820—2960	0.182	1.9
2	跃 41	E_3^2	3030	0.129	1.34	S5	狮深 20	E_3^2	3170—3320	0.226	1.88
3	狮 14	E_3^2	3343	0.200	5.06	S7	狮深 20	E_3^2	3500—3650	0.331	1.79
5	狮 20	E_3^2	4139	0.495	1.76	S9	狮深 20	E_3^2	3810—3960	0.413	1.29
6	南参 2	N_1^2	1793	0.089	1.18	S11	狮深 20	E_3^2	4100—4250	0.494	1.43
8	柴 3	E_3^2	1237	0.160	0.99	S13	狮深 20	E_2	4420—4560	0.544	1.44
10	油 6	E_3^2	3375	0.428	2.18	O1	红参 2	E_3^1	2565.1	0.358	1.88
11	油 6	E_3^2	4310	0.290	1.54	O2	跃地 1	N_1	1366—1368	0.392	2.21
12	咸 7	E_3^2	1691	0.079	1.34	O3	跃参 1	N_1	2255—2447	0.178	1.86
13	咸 7	E_3^2	2998	0.240	1.71	O4	跃深 7	E_3^1	3300.5—3322.7	0.306	2.11
14	南 1	N_1	2570	0.466	1.26	O5	跃中 10	N_1^2	1658.4—1661	0.301	1.79
15	南 1	E_3^2	3602	0.389	3.83	O6	跃 6—5	$N_1^2-N_1$	1447	0.310	1.46
16	南 1	E_3^2	4482	0.473	1.79	O7	狮中 4	N_1	1186.6—1187.8	0.389	1.31
17	风 3	N_1^2	2666	0.1633c	1.6	O8	狮深 20	E_3^2	4131.62	0.493	1.15
18	风 3	N_1^2	3536	0.434	1.54	O9	花 S1-10-1	N_1^2	639.6	-0.344	1.46
19	栗 3	N_1^2	1764.48	0.012	2.15	O10	花 S1-9-3	N_1	808—1209	0.364	1.38
20	栗 3	N_1^2	2532	0.406	2.04	O11	游中 1	N_1	1039—1260	0.400	1.37
21	栗 3	N_1	3839.22	0.419	2.26	O12	砂中 20	N_3^2	658—859	0.300	1.72
22	栗 3	E_3^2	4456	0.452	2.88	O13	柴深 1	E_3^2	2331.5—2381.6	0.357	1.82
24	栗 3	E_3^2	5108.32	0.412	1.99	O14	咸参 1	$N_2^2-N_1^2$	裸眼	0.452	1.62
25	尖 5	E_3^2	1892	0.378	2.85	O15	油浅 152	N_2^2	0—530.38	0.358	1.35
31	柴 3	E_3^2	2160—2170	0.319	2.14	O16	开浅 67	N_2^2	3.3—137.78	0.235	1.8
32	咸 7	E_3^{1+2}	3153—3163	0.301	1.87	O17	南心 62	N_2^2	267.5—427.0	0.412	1.44
33	跃深 7	N_1^2	2100—2102	0.220	1.59	O18	南 2	E_3^2	2981	0.652	1.01
34	跃深 10	E_3	3341—3350	0.213	20.74	O19	尖中 8	N_1^2	106.03—611.01	0.325	1.55
35	跃 44	E_3^2	1820—1828	0.138	1.74	O22	冷三号 7047	J_1^2	477.6—639.3	0.529	3.24
36	跃 24	E_3^2	3303—3438	0.211	1.56	O23	冷四号 609	E_3^2	610—760	0.470	2.15
37	跃 24	E_3^2	3475—3582	0.223	1.87	O24	冷五号 247	N_1	396—681.4	0.600	1.05
S1	狮深 20	N_1	2342—2520	0.146	2.22	O25	鱼中 1	J_1^2	200	0.350	0.79

断裂和裂缝组成的网络,从而改善了油气运移、聚集的条件。研究表明,柴达木盆地第三系的油气运移,是以垂直运移和短距离侧向运移为特征的,油气的聚集具有自生自储的性质。

另一个值得提到的特点是,在第三系长期的地质发展历史中,湖泊的分割性很小。除湖水盐度在平面上和纵向上有规律的变化之外,区域上沉积条件变化不大。这种沉积条件可能会导致油源层的地球化学特征在区域上的某种稳定性和在时间上的施回性,从而有可能突破构造或地区的限制。这是在油源对比中值得考虑的一个重要因素。



1、油样取样点及编号 2、岩心取样点及编号 3、岩屑剖面点及编号 4、居民点
 图1 采样点分布图

Fig.1 Sampling plots distribution

三 油源岩的判别分析

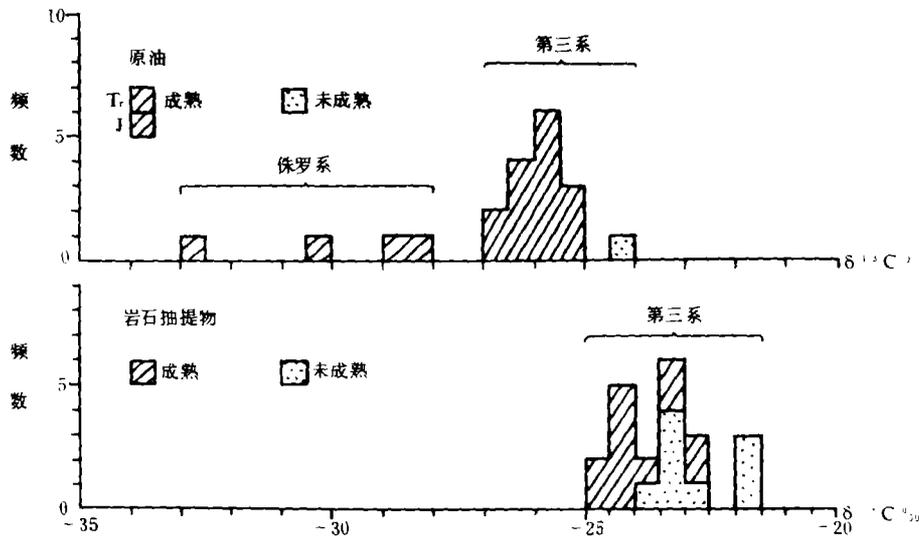
1、油/岩的碳同位素组成的比较

第三系正常原油的碳同位素的 $\delta^{13}C$ 值为 $-27.0\text{‰} \sim -25.4\text{‰}$ ，凝析油偏高 ($-25.0\text{‰} \sim -24.0\text{‰}$)。冷湖侏罗系油源油 (湖沼相) 的 $\delta^{13}C$ 值为 $-30.4\text{‰} \sim -38.6\text{‰}$ ，而鱼卡侏罗系原油 (淡水湖相) 更低 (-33‰)。可见，第三系和侏罗系原油是从截然不同的沉积环境下形成的油源岩中生成的。第三系成熟干酪根的 $\delta^{13}C$ 值为 $-24.8\text{‰} \sim -21.8\text{‰}$ ，接近第三系原油，反映了两者的成因联系。

与我国东部第三系大多数原油相比，柴达木原油的碳同位素值较高，而与东部盐湖相沉积比较发育的中原油田的原油，南海 (润西南凹陷) 第三系海相原油相当。可见，这些原油的碳同位素组成反映了原始成油母质碳同位素组成的基本特征和差别。因为，海生生物和盐沼植物与一般陆生、湖水生物相比，是以富集碳的重同位素为特征的；其沉积有机质及其所生成的原油必然 $\delta^{13}C$ 值较高 (图2)

2、环状生物标记化合物的总体分布特征

前已述及，由于第三纪和侏罗纪的沉积环境截然不同，因此其原油和岩石抽提物中的生物标记化合物的组成和特征也有明显差别，极易区分。譬如侏罗系油/岩富含 γ -羽扇烷和重排甾

图 2、原油和岩石中 $\delta^{13}\text{C}$ 值频率分布图Fig.2 Frequency distribution diagram of $\delta^{13}\text{C}$ in crude oils and rocks

烷，但缺乏树脂酸的衍生物，而第三系油/岩富含 γ -蜡烷和树脂酸的衍生物，但缺乏重排甾烷等。

在环状化合物的总体分布上，其油源意义也是明显的。现将有关资料汇编在图 3 中。应该说明，由于在岩石抽提物及其族组分离过程中，二环萜损失严重，致使其它环状生物标志化合物在总组成中所占的比例偏大，油/岩不宜直接比较。但是，二环萜的损失，基本上不影响其它环状化合物的相对分布关系，因而仍能显示出油/岩对比的意义。

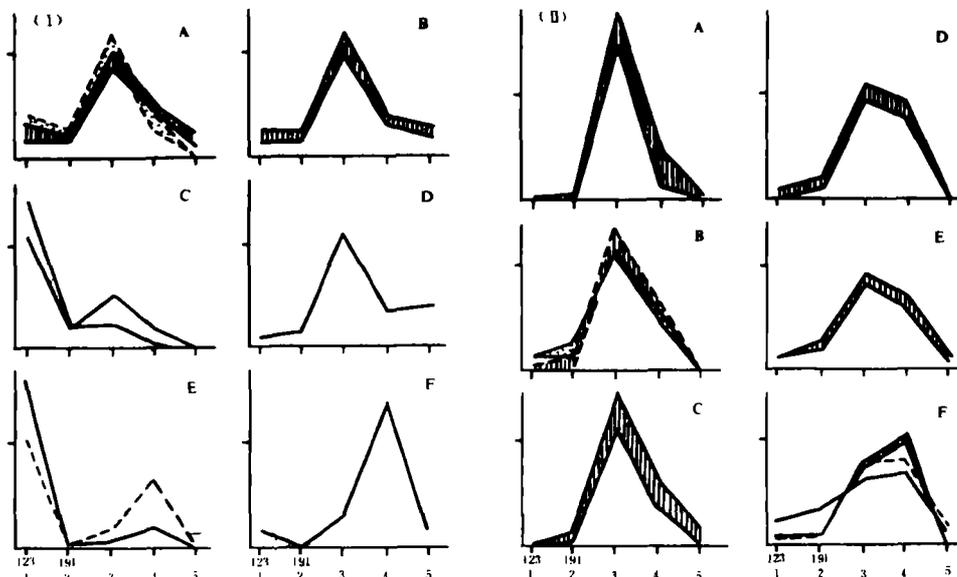
如图，表所示，首先在第三系和侏罗系原油的比较上，第三系以丰富的甾烷和较高的三环萜烷及胡萝卜烷，甾/霍值 > 1 为特征；而侏罗系以丰富的霍烷和二环萜烷，甾/霍比 < 1 为特征。就侏罗系油源油本身而言，冷湖和鱼卡的原油又有明显的不同（图 3-I E、F），油源有别。而第三系尕斯库勒和几个相对形成深度较浅（咸水泉，油泉子，和尖顶山）的原油（图 3-I A），又与狮子沟，平柴沟，南翼山的原油（图 3-I B）有一定的区别。至于两个凝析油（图 3-I C）和狮子沟深层的 08 号成熟油也各有其特点。前者二环萜相对含量高，后者胡萝卜烷含量高。

第三系岩石抽提物，按甾/霍比可分为强优势（甾 \gg 霍，图 3-II-A B、C），优势（甾 $>$ 霍，图 3-II-D、E）和反优势霍 $>$ 甾，图 3-II F）三类。就胡萝卜烷而言，部分样品含量极少。作为我们所分析过的第三系原油的生油岩，自然是存在于那些具有甾烷优势的岩石中，这就需要进一步利用生物标记分子参数予以判别了。

3. 第三系正常甾烷原始构型 (20R) 化合物碳数分布的对比。

甾烷的碳数分布是最有效的油/岩对比参数，因为它能够灵敏的反映油源岩的母质特征，确定油、岩之间的成因联系。其中，我们认为编制原始构型化合物 (20R) 的碳数分布三角图和综合指纹类型曲线是两种最好的油源对比方法。

如图 4 所示，总的来看，柴达木盆地第三系原油中 5α ， 14α ， 17α 甾烷 (20R) 的碳数分布的变化幅度不大，但相对而言，仍可划分为 A、B、C、D 四个点群，并与前述总体参数的分布具有相当的一致性。A 点群为尕斯库勒油田西南边缘相带干柴沟构造的低熟原油，以 C_{27} 和 C_{29} 的均势为特征。B 点群为狮子沟构造带的原油，C 点群为茫崖拗陷北区的低成熟原油（仅 014 号



1、二十三环萜；2、三环萜；3、甾烷；4、藿烷；5、β-胡萝卜素

图3 第三系和侏罗系原油（I）和生油岩（II）中甾、萜类相对含量分布对比图

Fig.3 Correlation graph of relative contents of steranes and terpanes in Tertiary and Jurassic oils (I) and source rocks (II)

已成熟），两者均以 C_{27} 的不很强的优势为特征，而主要是在 C_{28} 的相对含量上有一定差别。第三系两个成熟度最高的深层油样（D点群）表现为明显的 C_{27} 的优热。未成熟凝析油（016号）在碳数分布上比较特殊，是所有油样中 C_{28} 相对含量最高的一个样品。至于侏罗系油源油，显然不同于第三系原油，点群散布在图的下方（贫 C_{28} ），或以 C_{27} ，或以 C_{29} 的极大优势为特征。

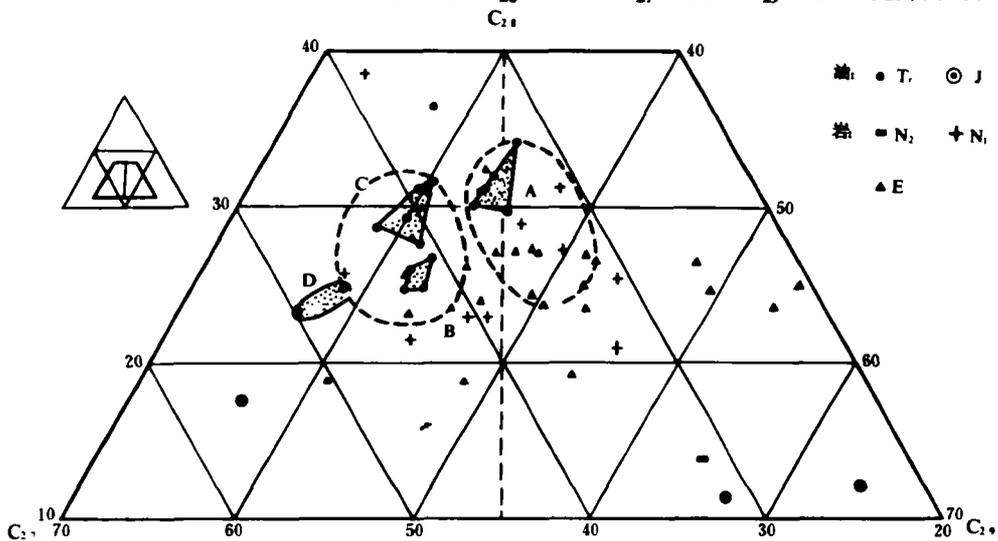


图4 油、岩中不同碳数生物构型（ $\alpha\alpha\alpha R$ ）甾烷碳数分布三角图

Fig.4 Triangle diagram of biological steranes ($\alpha\alpha\alpha R$) with different carbon numbers in oils and rocks

以上述第三系原油点群分布为基础,可以在图中确定出两个油/岩对比亲缘圈的范围,从而排除了某些样品作为源岩的可能性。如图所示,在母质类型上,可以作为油源岩的落在亲缘圈之内的样品,表现为两种情况:一种是属于相应油田邻近地区或油田(藏)本身深部的岩石样品。在这种情况下,当配对油/岩的成熟度基本一致时,这些样品无疑代表了相应油藏的生油岩。譬如,34和37号样品以及狮深20井下膏盐段以上(含膏盐段本身的S7号)的样品代表了尕斯库勒油田的生油岩;下膏盐段以下的样品代表了狮子沟构造带的生油岩等。这种油/岩的可比性进一步表明,这些油田的原油来自该区埋藏较深的下第三系地层,狮子沟—油砂山大断裂在这些油田的形成上起着极为重要的作用,构成了油气垂直运移和侧向运移的通道。另一种情况是,尽管有些岩样点也落在油岩亲缘圈之内,但是或成熟度低于可对比原油,或远离可对比的油田,失去了作为油源岩的可能性。它们只是表明油、岩的母质类型一致或在油田附近相应层位上可能有源岩存在。这是柴达木湖盆的沉积条件在区域上的稳定性和发展上的旋回性所造成的。

4. 用母源参数与成熟度参数判别油源岩

就油源对比而言,最好的方法是把母源参数和成熟度参数结合起来进行,以便作出更为可靠的油源岩的判别。

在这里,笔者选用 C_{29} 甾烷的两项异构化参数——差向异构和环式异构参数作为油、岩的成熟度参数分别与生物构型的正常甾烷 $(C_{28}+C_{29})/C_{27}$ 这一母源参数相结合编制了两张油源对比图(图5和图6)。

关于母源参数 $(C_{28}+C_{29})/C_{27}$,笔者在早2井的研究中应用过,其值随着陆源类脂补给的增加而增大。干酪根的同位素测定资料也表明,随陆源输入的增强,干酪根 $\delta^{13}C$ 值降低,而可

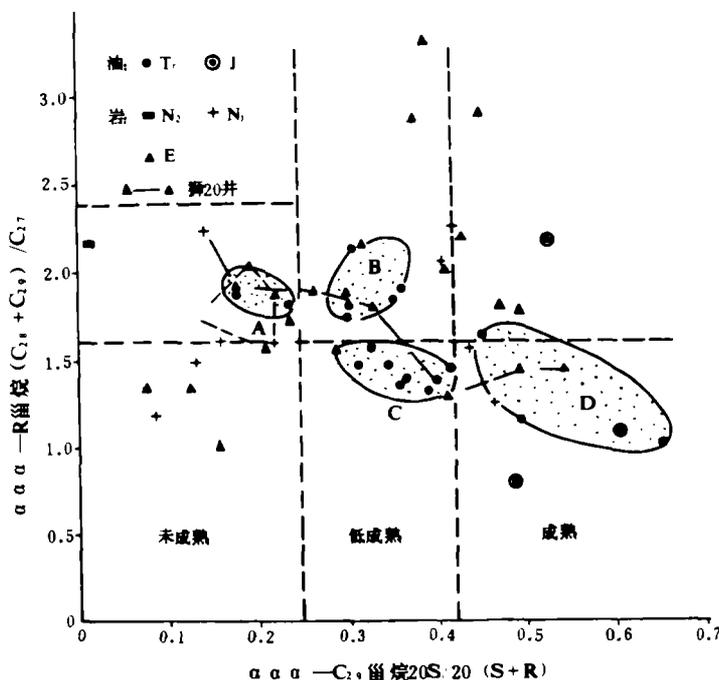


图5 以母源参数和甾烷差向异构化程度参数表示的第三系油源对比图
Fig.5 Tertiary oil-source correlation by means of precursor indicators
and sterane differential isomerization indicators

溶有机质中甾烷 ($C_{23}+C_{29}$) / C_{27} 的比值有所增大。

在这两张油 / 岩对比图中，特别是在母源参数与 C_{29} 甾烷差向异构化参数构成的坐标图上，清楚地显示了柴达木盆地第三系不同成熟度原油与源岩之间的成因联系，并获得了以下认识：

(1) 柴达木盆地几种不同成熟度的原油，虽受岩样数目所限，仍大多可以找到相应的油源岩。它们在时代上，是以下第三系为主，中新统为辅。在图 5、6 中，我们按母源参数 = 1.6 为界分为上、下两区，按三个成熟度级别，划分出四个母质类型和成熟度有别的点群 (A、B、C、D)。有趣的是，狮深 20 井岩样的系统分析资料 (图中实线)，贯穿了四个原油的点群，显示了它在油岩对比上的相关性质和重要意义。从地质发展历史来看，在狮深 20 井的剖面中，下膏盐段之下 (E_2) 母质类型更好，之上 (E_3-N_1) 稍差。图中不同成熟度原油分布的上、下之别，正是油源岩母质类型变化总趋势的反应，即总体来看，成熟度较高的原油是来自埋深较大，时代较老，母质类型较好的生油岩。反之，生油岩的时代较新，埋藏较浅。这条界线大致与狮深 20 井下膏盐段相吻合。

(2) 尕斯库勒油田 03 号油样为未成熟的轻质油，在图中恰恰落在该油田本身未成熟的生油岩点群之中，证明该油藏来自油田本身的生油岩。图 7 中，油、岩质量色谱图的直观对比表明，03 号油样与 34 和 37 号岩样可比性最好，说明油源层为渐新统。至于 016 号样是开特米立克油田未成熟凝析油。笔者没有该区的岩样及其有关的油源岩资料。不过，有迹象表明它来自埋藏较浅的中新统未成熟生油岩。

(3) B 点群以尕斯库勒油田的低成熟原油为代表 (其中也包括干柴沟和油砂山的各一个油样)。值得注意的是，尽管我们在该油田采集到的岩样埋深已达 3500m (地温 124℃，第三纪晚期的埋深仅 2800m)，但它们的成熟度仍低于原油。因此，岩样与原油的母质类型虽然相似，仍不可能作为油源岩。而假如我们把生油岩的成熟度提高一些，则油、岩之间必将出现良好的可比性。由此，笔者得出一个重要的结论，尕斯库勒油田的低成熟原油是来自北侧断层下盘茫崖拗陷南部埋深已达 4000m 以上的下第三系生油岩。尕斯库勒油田的油层异常高压，可以设想这是由一种来自深部高压油源层的石油，沿断层上升，强行灌入储层的结果。油层的异常高压是油源层埋深更大，地层压力更高的反映。如图 5、6 所示，尕斯库勒油田的低熟原油，与盆地西斜坡某些下第三系低成熟生油岩 (S7, 31, 32 号) 的可比性好这也证明其油源层存在于断层下盘埋深更大的相应地层中 (见图 8 上部)。

(4) C 点群代表了狮子沟构造带和茫崖拗陷北区 (油泉子、南翼山和尖顶山) 低成熟油。总的来说，它们的母质类型较好，异构化程度和成熟度也高于尕斯库勒油田，表明油源层埋深较大，时代较老。图 5、6 和 8 表明，可比性较好的油源岩有狮子沟埋深 3900m 的 S_9 号样和油泉

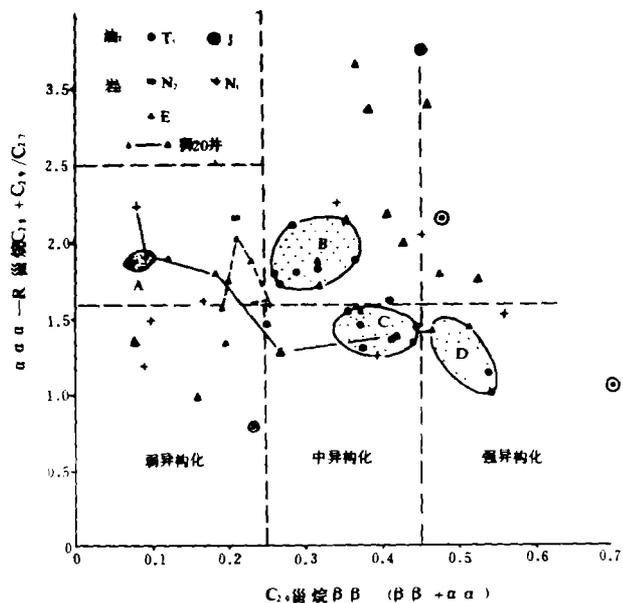


图 6. 以母源参数和环式异构化程度表示的第三系油源对比图

Fig. 6 Tertiary oil-source correlation by means of precursor indicators and cyclic isomeration

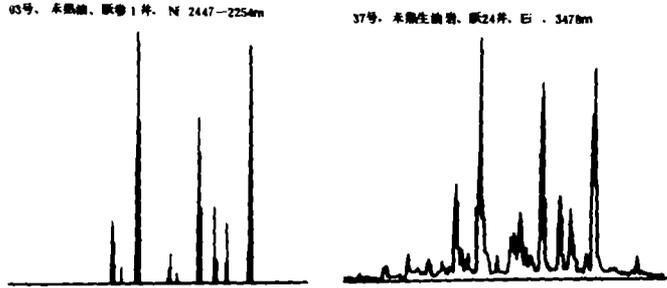


图7 尔斯库勒油田未成熟石油中甾烷 (m / e 217) 的油 / 岩对比图

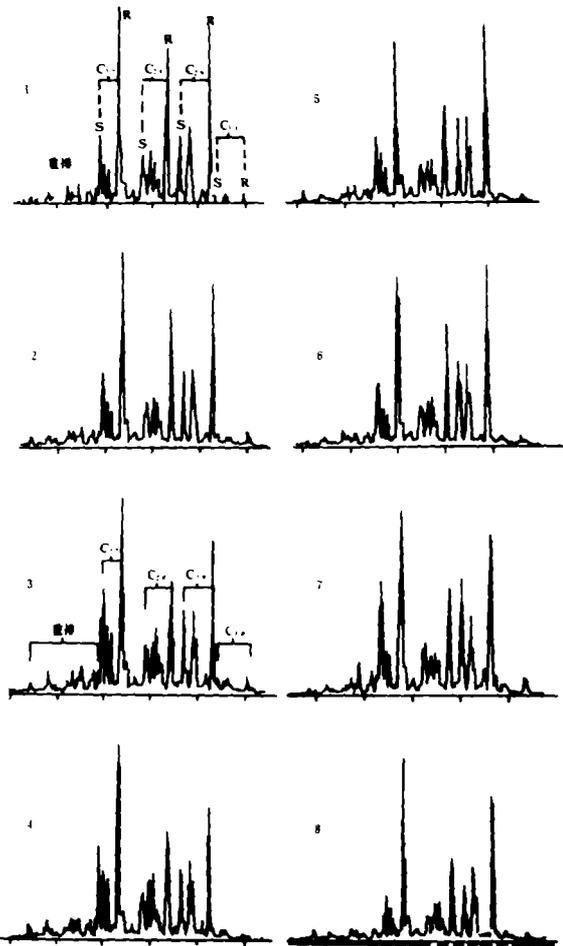
Fig.7 Oil-source correlation by m / z217 mass chromatographs of immature oils from Gasikule oilfield

子埋深 4300m 的 11 号样, 时代属渐新统。14 号样 (中新统) 也有可比性。

(5) 点群 D 代表了本区第三系成熟—高成熟的源油和凝析油。应该说它们是来自成熟最高、埋深最大的源岩。如图 5、图 9 所示, 它们的源岩可以狮 20 井埋深 4200—4500m 的 S11 和 S13 号样为代表, 属始新统。在我们所采集的样品中, 没有高成熟 ($R_0 > 1.3\%$) 的岩样, 因此没有发现与南 2 井高成熟凝析油可以直接对比的源岩。不过, 按狮 20 井的成熟趋势和早 2 井的资料, 这类高成熟生油岩是出现于 5000m 以上, 地温 160—170℃ 以上的层位中。南翼山地温梯度较高, 埋深 3000m 的凝析油温度已达 132℃, 可以预料将出现埋深大于 4500m 地温大于 170℃ 的地层中。总之, 笔者认为柴达木盆地的成熟石油应来自下膏盐段之下的古、始新统 (E_{1+2}) 的生油岩。这种油源油由于埋深较大, 目前还发现不多, 但它们表明柴达木盆地的深层勘探还有很大潜力。

5. 油、岩指纹类型的对比

油、岩生物标志化合物的指纹特征和类型分析是油源对比的有效方法之一。我们利用 6 个 $\beta\alpha$ 型重排甾烷, 6 个异胆甾烷和 6 个

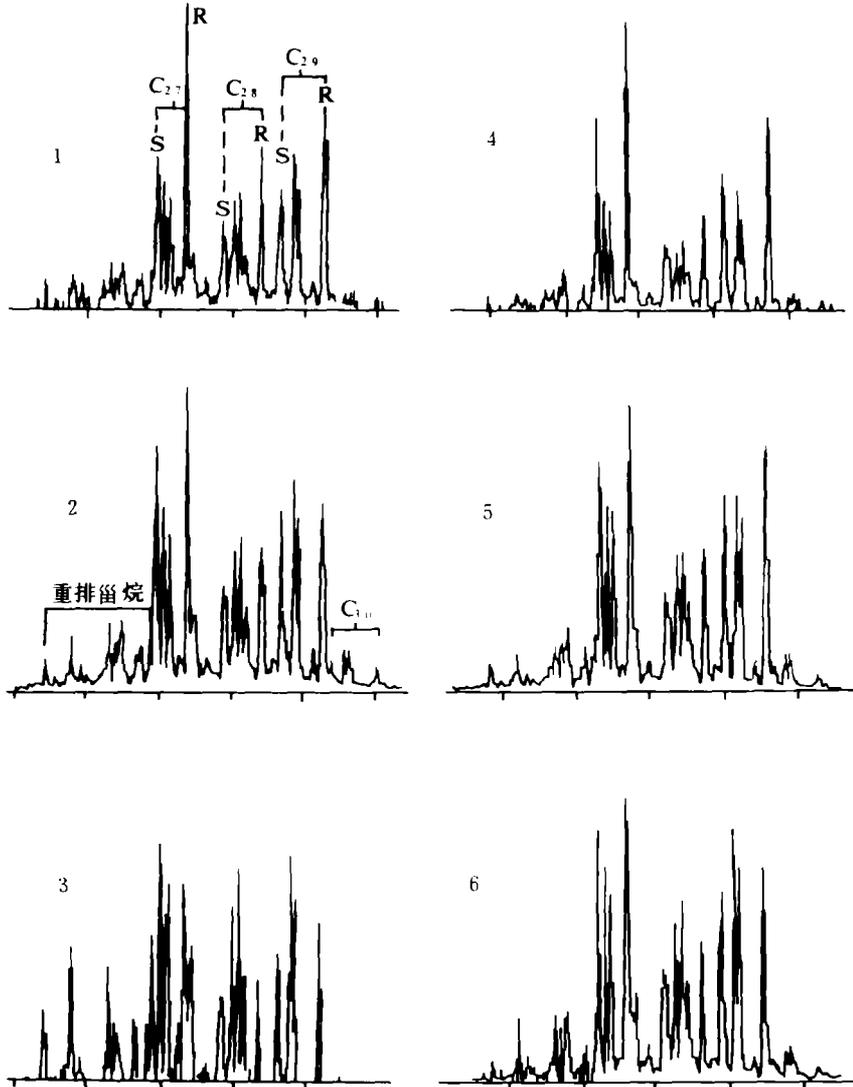


- 1、跃深 7 井, E_3^1 , 低成熟油; 2、砂中 20 井, N_1^1 , 低成熟油;
- 3、南 2 井 E_3^2 成熟油 4、油浅 152 井, N_2 低成熟生油岩;
- 5、柴 3 井, E_3^3 同 4; 6、成 7 井 E_3 , 同 4; 7、狮 20 井 E_3^4 , 同 4;
- 8、油 6 井 E_3^5 , 同 4

图 8 柴达木盆地西南部各区低成熟原油中甾烷 (m / e217) 的油岩对比图

Fig.8 Oil-source correlation by m / e 217 mass chromatographs of low-matured oils from the southwestern parts of Chaidamu Basin

胆甾烷共 18 个 C_{27} — C_{29} 的化合物归一计量，基本上按它们在色谱图上流出的顺序，编制指纹图。把所有的指纹曲线加以比较，按相似归并的原则，获取几个样品合一的综合指纹曲线。

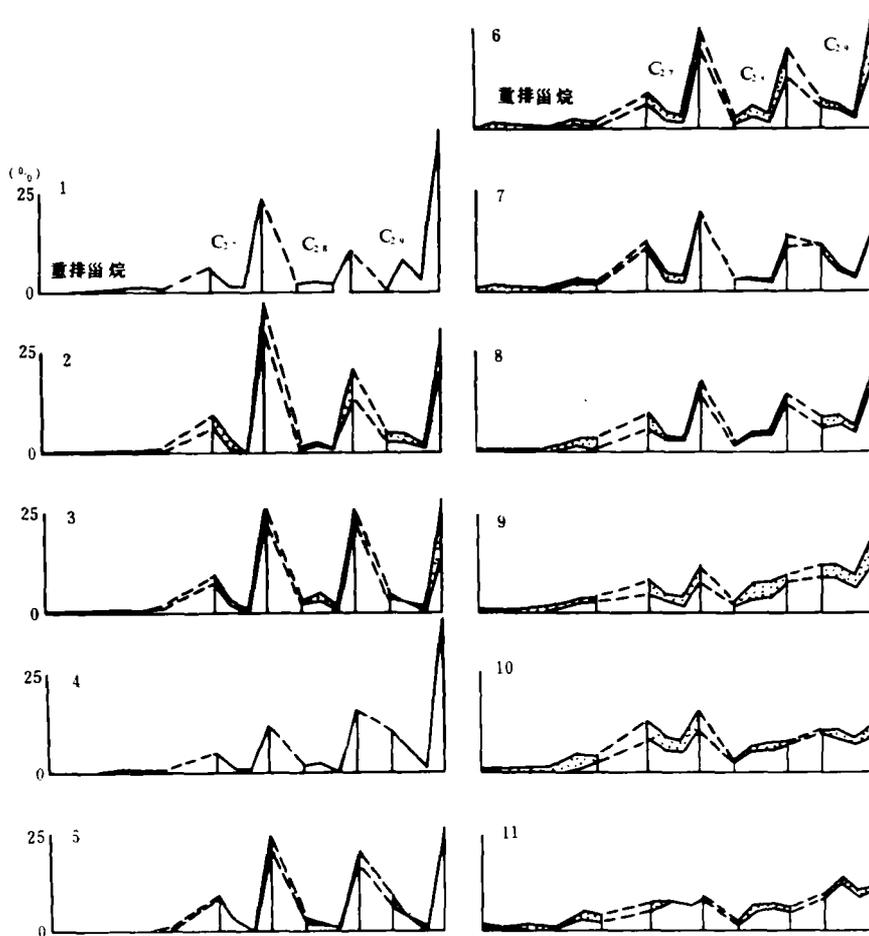


1、咸参 1 井，N，成熟原油；2、狮 20 井，E 成熟原油；3、南 2 井，E 成熟原油；4、南 1 井，N 成熟生油岩；5、狮 20 井 E 成熟生油岩；6、狮 20 井 E 成熟生油岩

图 9 第三系成熟石油中甾烷 ($m/e217$) 的油 / 岩对比图

Fig.9 Oil-source correlation by $m/e217$ mass chromatographs of the Tertiary mature oils

在图 10 中，汇编了 35 个第三系岩石抽提物中甾烷的综合指纹曲线，共 11 条。这些曲线可以按成熟度分为 A 型（未成熟）、B 型（低成熟）和 C 型（成熟）。每一类型再以 20R 构型化合物的碳数分布特征为主要根据，划分为若干个亚型，这样就体现了在油源对比中，母源参数与成熟度相结合的原则。



1. A₁型, 未成熟; 2. A₂型, 未成熟; 3. A₃型, 未成熟; 4. A₄型, 未成熟; 5. A₅型, 未成熟; 6. A₆型, 未成熟;
7. B₁型, 低成熟; 8. B₂型, 低成熟; 9. B₃型, 低成熟; 10. C₁型, 成熟; 11. C₂型成熟

图 10、柴达木盆地第三系不同成熟度中油岩抽提物中甾烷的综合指纹图

Fig.10 Comprehensive fingerprint diagram of steranes in extracts of the Tertiary source rocks with different maturity in Chaidamu Basin

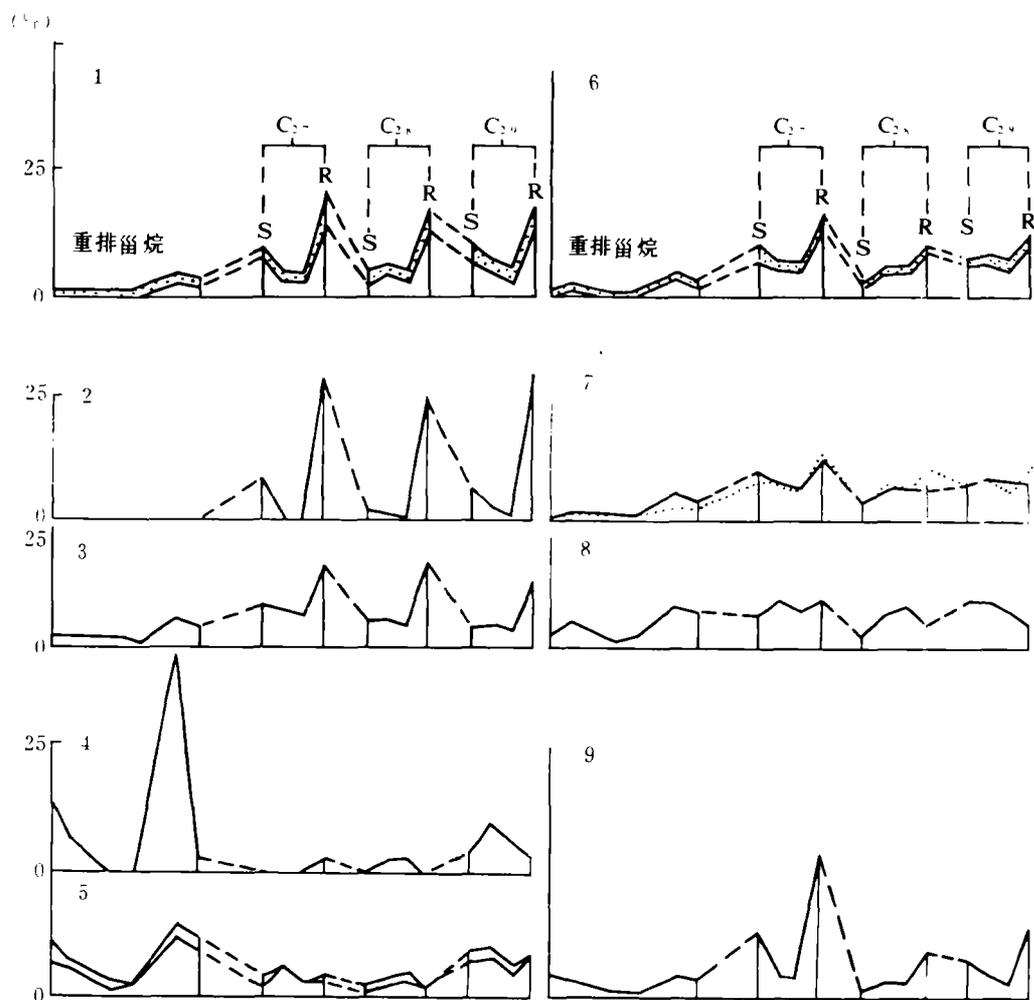
如图 10 所示, 柴达木盆地西部第三系生油岩的综合指纹曲线组成了一个从未成熟到成熟的熟化系列, 它们的共同特征是:

(1) 重排甾烷的含量低, 并显示出 C₂₉ 的优势。即便是在成熟的生油岩中, 重排甾烷的增长也较为有限, 反映了盐湖相沉积对重排反应的抑制作用。

(2) 在 R 型正规甾烷的碳数分布上, 以 C₂₇-C₂₈-C₂₉ 甾烷组成的谷状“V”型指纹为基本特征, 或 C₂₇, 或 C₂₉ 呈现出较弱的优势。这是一种成烃母质较好, 在我国第三系生油岩中常见的指纹类型。不过, 在柴达木盆地第三系生油岩抽提物中, 以 C₂₈ 具有一定强度为特色。因此“V”形的坡度平缓, 甚至有碳数分布上的“一”形指纹 (A-3 型) 出现。

(3) 在笔者的样品中, 典型的腐殖型母质即具有 C₂₉ 显著优势的箕状反“L”型指纹 (A-4) 少见。

(4) 在未成熟的生油岩中, 生物构型 (20R) 的化合物具有明显的优势, 综合指纹曲线起伏



1、尕斯库勒等地低成熟原油；2、未成熟轻质油；3、未成熟凝析油；4、5冷湖成熟油；6、狮子沟等地低成熟原油；7、成熟原油；8、高成熟凝析油；9、鱼卡低成熟原油。

图 11、柴达木盆地原油中甾烷的综合指纹类型图

Fig.11 Comprehensive fingerprint diagram of the Tertiary oil in Chaidamu Basin

很大，随着成熟度增高，指纹曲线的起伏渐趋平缓，但“V”型的基本特征始终保持着。同时，就单一碳数的指纹特征而言，随成熟度的增长有如下变化规律：未熟“勺形”，低熟“阶梯形”，成熟“凹形”，高成熟“凹形”。

在图 11 中，笔者汇编了柴达木盆地原油的指纹曲线。从图中不难看出，不仅第三系原油与侏罗系油源油的指纹特征明显不同，而且冷湖侏罗系油源油同鱼卡的侏罗系原油也有显著的差别。冷湖侏罗系油源油是一种成熟度较高的指纹，属反“L”型，具有重排甾烷的显著优势，代表了湖沼相腐殖型源岩成烃的特征指纹。而鱼卡原油的指纹是以 C_{27} 的显著优势为特征的，属“L”型，代表了淡水湖相腐泥型源岩成烃的特征指纹。从侏罗系剖面的岩相变化和含煤情况来看，鱼卡原油的源岩时代应晚于冷湖的油源岩，很可能是中侏罗纪晚期湖相沉积的油页岩 (J_2^1)。

第三系原油的指纹，在总的面貌上与第三系生油岩的指纹有很大相似性和可比性，并同样处于一个熟化的系列之中，曲线的起伏渐趋平缓。除两个凝析油样外，均可以从第三系生油岩的综

合指纹曲线中找到可比性良好的指标类型。其中:

03号未成熟原油与A-3, A-5和A-6型指纹均有可比性, 尤以A-5和A-6的可比性更佳。

与前述研究结果一致, 低熟石油也可以区分为成熟度相对较低的尕斯库勒油田的原油指纹和成熟度相对较高的狮子沟构造带的原油指纹。干柴沟(013)和尖顶山(019)的低熟原油指纹与前者同型; 油泉子(015)和南翼山(017)的低熟原油指纹与后者同型。它们与生油综合指纹曲线中的B-1各B-2型具有较好的可比性, 油源岩自然也就包含在其中了。

成熟石油(08, 014)的指纹起伏较为平缓, 与生油岩指纹的C₁型可以对比。其中014号咸水泉的原油指纹的成熟度低于08号狮子沟狮深20井深层原油, 因此具有成熟原油与狮子沟低熟原油之间的过渡性质。

总之, 通过油/岩之间甾烷指纹的对比进一步证实了我们在前文中有关柴达木盆地第三系油源岩判别的结论, 并使可比性生油岩的范围有所扩大。这是因为笔者在前文中所使用的油/岩对比方法, 只是侧重油, 岩之间某些基本特征的比较, 限定严格, 而在这里是甾烷全碳数指纹特征即全貌或总体特征的对比。在柴达木盆地第三系可比性油, 岩的母源参数(碳数分布的指纹类型)变化不大的情况下, 油、岩之间成熟度的一致性就成为油、岩之间指纹相似性的主要因素, 从而扩大了可比性油/岩的范围。

结 论

应用五种生物标记油源对比方法, 证明在识别同时代不同成烃演化阶段的产物即不同成熟度石油的油源岩上, 其最有效的方法是把甾烷的母源参数和成熟度参数结合起来, 作指纹类型的对比。这样就把油源对比放到了整个成烃演化阶段中去考察, 从而取得了最佳的对比效果。

研究表明, 柴达木盆地第三系成烃母质类型较好, 油源岩在碳数分布上具“V”形谷状指纹, 常表现为C₂₇甾烷的优势。但相对而言, 始新统一渐新统的母质类型更好, 中新统稍差, 两者的分界值为甾烷(C₂₇+C₂₈)/C₂₉=1.6。在笔者的研究中, 把油源对比放到整个成烃演化阶段中去考察, 证明在笔者的研究中, 不同成烃演化阶段的产物, 即不同成熟度的原油均可以找到相应油源岩。从而确定了目前柴达木盆地所找到的石油大多具有低成熟的性质, 而成熟和高成熟成烃演化阶段的产物尚发现不多, 还有很大的资源潜力。

收稿日期 1988年5月17日

参 考 文 献

- 华保钦等, 1983, 沉积学报, 1卷4期, 61—77页。
 宋之琛等, 1985, 柴达木盆地第三纪孢粉学研究, 石油工业出版社。
 黄第藩等, 1981, 石油勘探与开发, 第1期, 26—38页
 黄第藩等, 1982, 中国陆相油气生成, 石油工业出版社。
 黄第藩等, 1984, 陆相有机质演化和成烃机理, 石油工业出版社。
 黄第藩等, 1985, 沉积学报, 2卷3期, 18—33页。
 黄第藩等, 1987, 有机地球化学论文集, 71—84页, 地质出版社。
 黄第藩等, 1987, 石油学报, 8卷1期, 1—9页。
 G.福尔, 1977, 同位素地质学原理, 科学出版社(1983)
 Johns, R. B. (editor), 1986, Biological markers in the sedimentary record, Amsterdam—Oxford—New York—Tokyo.
 Seifert, W.K. and J.M. Moldowan, 1978, Geochimica et Cosmochimica Acta. V.42, P.77—95.

Tissot, B. P. and D. H. Welte, 1978, 1984, *Petroleum Formation and Occurrence*, Springer Verlag Berlin Heidelberg New York Tokyo.

THE TERTIARY OIL SOURCE CORRELATION IN Q Aidam BASIN

Huang Difan Zhang Dajiang Li Jingchao Huang Xiaoming

(Petroleum Exploration and Development Scientific Research Institute, Petroleum Ministry)

Zhou Zhuhong

(Petroleum Exploration and Development Scientific Research Institute, Qinghai Petroleum Administration Bureau)

Abstract

Qaidam Basin is a typical Tertiary inland salt lake containing oils and gases. There is a complete sequence of oil maturation: from immature to highmature. Under such background, the oil source correlation, concerning the evaluation of resource volumes in different stages of hydrocarbon generation, is of great importance. According to the analysing data of 35 rock samples and 23 oils and on the basis of the comprehensive geochemical study, the paper discussed the oil source beds of different ages via biomarkers, the correlation of oils and source rocks in different layers as well as in different evolution stages.

GC/MS analysis was undertaken by Finnigan-Mat YSQ-45 GC-MS-computer system. The methods of oil source correlation include:

1. carbon isotopic composition
2. bulk distribution of cyclic biogenetic compounds
3. distribution of steranes with different carbon numbers
4. combination of source indicators with maturity indicators to discriminate source rocks
5. fingerprint types of oils and rocks

The results revealed that methods 1 and 2 can distinguish the oils of Tertiary sources from those of Jurassic sources. As for the Tertiary oil-source correlation, methods 4 and 5 should be used because the hydrocarbon precursors are stable.

The present study suggests that the Tertiary possessed good source rocks; the sterane carbon number distribution of source rocks shows "V" - shaped fingerprint and C_{27} predominance. Relatively, the Eocene-Oligocene source rocks are better than the Miocene rocks, their boundary value of $(C_{27}+C_{28})/C_{29}$ is 1.6. Our study, in which the oil source correlation was investigated through the whole hydrocarbon generation process proved that the hydrocarbons generated in different stages, i.e., crude oils of different maturity, can be correlated to their source rocks. It was confirmed that crude oils found in Qaidam Basin by now are mostly low-mature. However, the mature and high-mature hydrocarbons are rarely found. That means, the basin is still of great resource potential.