

# 塔里木盆地北部沙雅隆起雅克拉构造油气 地球化学特征及其生成、运移和聚集<sup>①</sup>

胡伯良 申建中

(中国科学院兰州地质研究所)

本文以丰富的资料系统阐述了新疆塔里木盆地北部雅克拉构造的油气地球化学特征及其生成、运移和聚集。作者在分析沙雅隆起地质构造发展史的基础上,充分应用油气地球化学特征,提出该区油气的生成、运移和聚集模式。

新疆塔里木盆地1984年9月22日在塔北沙雅隆起雅克拉构造上沙参2井钻至5391m深奥陶系顶部白云岩时获得高产油气流,估计初产日产油1000多立方米,气200万立方米。这是继1977年5月17日在盆地西南坳陷发现柯克亚高产油气田后,又一次引起在塔里木盆地勘探大油气田的兴趣。

## 一、地质背景

### 1. 构造位置

沙雅隆起位于塔里木盆地北部,为塔北隆起的鞍部,西起的阿克苏,东到库尔勒,东西长460km,北以库尔勒—阿克苏公路为界,南到塔里木河一带,南北宽10—50km。

沙雅隆起南与阿瓦提—满加尔坳陷以轮台断裂为界,北与库车坳陷以轮台—新和断裂为界。沙雅隆起实际上是一个由古生界组成的断隆,在中生代仍处于隆起的状态,致使中生界变薄并局部有缺失,新生代以来形成南高北低的斜坡。在新生界以下,隆起轴部发育北东东向雁行状排列的压性或张扭性断裂,断裂之间形成断块凸起或断陷。雅克拉构造就是在沙雅隆起这种地质构造背景上的一个古生界的隐伏凸起(图1),沙参2井是位于雅克拉构造南高点上的一个高产油气流发现井(图2)。

### 3. 地质发展史

塔里木运动(6.5—5.7亿年前)后,塔里木盆地与中朝地台连成一体,成为稳定的中国地台的一部分,塔北地区在元古代末或震旦纪早期,从阿克苏—柯吐尔、新和—轮台、雅克拉—库鲁克塔格一带分布着东西延伸的大小古岛,形成岛弧,沙雅隆起已成雏形。中奥陶世末的加里东运动使塔北隆起抬升,成为天山地槽和塔里木地块的分水岭,

<sup>①</sup> 本文曾在第二届亚非石油地球化学及勘探会议(1988年8月,北京)上宣读过。

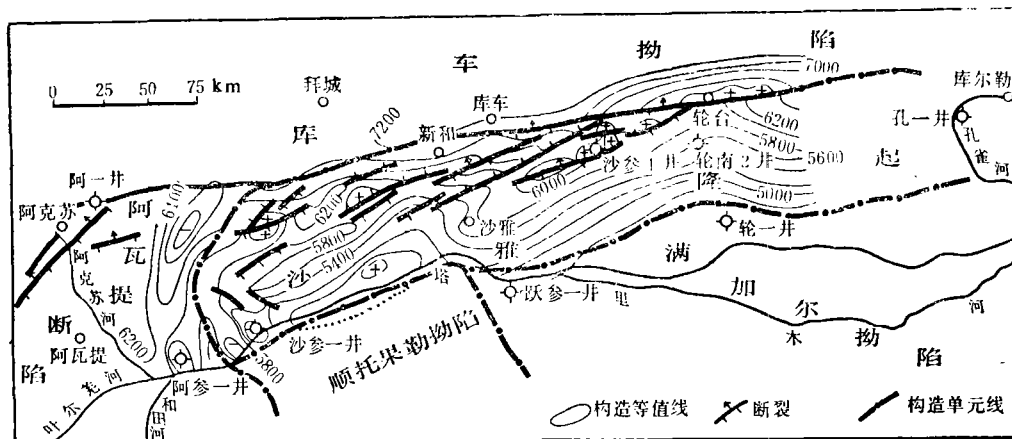


图1 塔里木盆地沙雅隆起古生界顶面构造图 (据康玉柱, 1985)

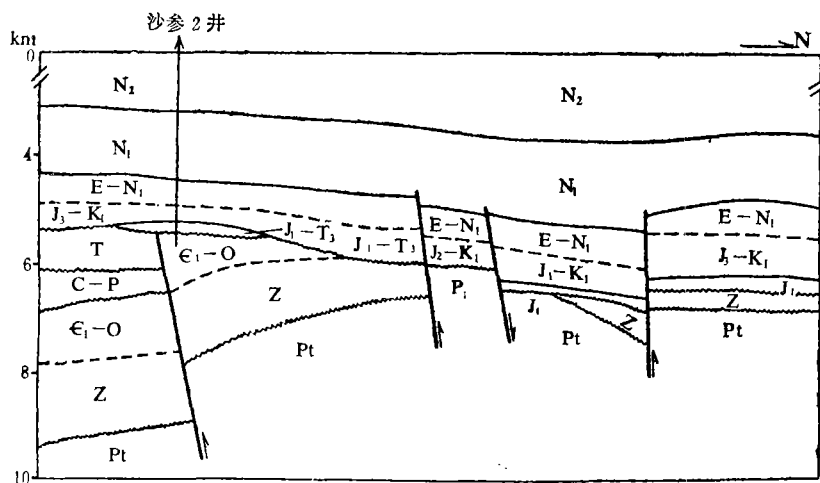


图2 塔里木盆地雅克拉构造横剖面图 (据康玉柱, 1985)

控制古生代和中生代沉积的分布。古生代以稳定地块的海相沉积为主, 中生代为断陷盆地的湖泊沉积, 新生代形成统一的盆地, 沉积巨厚的第三系沉积。

古生代, 西伯利亚古板块向南漂移, 在塔北地区造成四次构造运动, 天山陆间海槽时而海水侵入地块, 时而海水退出, 形成区域不整合, 沉积了四个海浸海退旋回, 一套厚度为2000—8000m的地台型海相碳酸盐岩建造和碎屑岩建造, 并夹陆源碎屑建造。

震旦纪时巴楚古陆仅沉积了256m的陆相和潮坪泻湖相沉积; 而在柯坪和库鲁克塔格沉积了厚达1800—6000m的陆相和海相交互相沉积。

寒武-奥陶纪时海浸扩大, 淹没了整个塔北地区, 沉积厚达1700—3500m。寒武纪沉积了潮坪泻湖为主的碳酸盐岩建造夹石膏、泥岩及含磷黑色页岩建造, 早奥陶至中奥陶世沉积了一套典型的开阔台地相为主的碳酸盐岩建造, 富含笔石、三叶虫和头足类化石。中奥陶世晚期, 由于加里东运动, 天山海槽收缩, 塔北地区缺失上奥陶统, 与上覆下志留统不整合。

早志留世时天山海槽再度扩张,海水侵入塔北地区,沉积了厚500m的一套海相灰绿色碎屑岩建造,砂岩页岩夹泥灰岩富含笔石、腕足类和遗迹化石。早志留世末,因加里东运动影响,中、下志留统缺失,与上覆下泥盆统呈不整合。

早泥盆世由于海侵,形成一套滨海-陆源碎屑岩建造;晚泥盆世早期,因海西运动使塔北地区上升为陆,沉积一套陆相红色碎屑岩建造夹磨拉石建造,厚度在500—2100m左右;晚泥盆世上升褶皱并遭受剥蚀,与上覆石炭系呈角度不整合。

早石炭世晚期,塔北地区又一次发生大海侵,延续到早二叠世。石炭系以浅海相碳酸盐岩建造为主,夹泥质岩;下二叠统西南为海陆交替相碳酸盐岩与碎屑岩互层,东部是陆相碎屑岩建造,在塔北地区普遍夹有火山喷发岩;上二叠统为陆相红色碎屑岩建造,与中生界呈角度不整合,总厚为800—4600m。

中生代为断陷盆地湖泊发育阶段。二叠纪末,在西伯利亚和印度板块碰撞作用下,经海西造山运动,塔里木盆地周围海槽褶皱成山,海水退出盆地。在印支和燕山运动中发生了与古生代反向的断块差异升降运动;巴楚地区上升为陆,缺失中生界。塔东满加尔至阿瓦提一带和库车-拜城一带断陷为盆,沉积了湖相三叠-侏罗系,厚达2000—4000m;塔北隆起带经历了两亿多年的风化剥蚀后,整体断陷,沉积了三叠-侏罗系滨湖相为主的碎屑岩建造夹沼泽相薄层煤及页岩建造,厚度为200—800m。

新生代在中生代断陷的基础上,始新世末盆地整体下陷,形成统一的坳陷盆地,接受了巨厚的第三系沉积,在塔北隆起带厚度达5000—7000m。

### 3. 油气源岩

塔北地区主要有三套可能的生油岩系:

(1) 寒武-奥陶系生油气岩主要是深灰色泥晶灰岩、泥灰岩、藻白云岩和黑色页岩,在巴楚和柯坪地区可能的生油气岩厚度为500—1000m。有机碳含量灰岩一般为0.08—0.15%,平均0.13%;页岩为0.24—1.78%,平均0.25%,氯仿沥青为59—65ppm;

(2) 石炭-二叠系生油气岩主要为暗色泥页岩和粉晶泥晶灰岩,厚度为200—500m。石炭系灰岩有机碳含量为0.10—0.81%,氯仿沥青含量为200—310ppm;暗色泥岩有机碳含量为0.32—0.73%,氯仿沥青A为200—480ppm;

(3) 三叠-侏罗系生油气岩主要为暗色泥岩、页岩和泥灰岩,厚度为250—500m。有机碳含量0.42—1.36%,平均为0.68%,氯仿沥青236—580ppm,有机质类型为腐殖型和腐殖-腐泥型,镜质体反射率 $R^0$ 为0.4—0.68%。

### 4. 探井钻遇地层

在雅克拉构造上,除沙参2井在前中生界风化壳下钻遇奥陶系白云岩外,随后完成的沙3、沙8、沙4、沙7和沙6井,分别在前中生界下钻遇震旦亚界的千枚岩、泥板岩和藻白云岩,寒武系的泥晶白云岩和微晶白云岩以及奥陶系的残余球粒细到中晶白云岩和硅质岩。这些下古生界地层在地下为近于南倾的单斜层,倾角在30°左右,并在沙7(ε)和沙4(Zn)井获得油气流。油气水分别储集于震旦、寒武和奥陶系的白云岩中。根据沉积岩百学、古生物学和矿物学的研究,认为这套地层主要属于碳酸盐台地相中的潮坪

(泥坪、泥藻坪和部分砂坪)沉积环境。

在雅克拉构造东南的轮南一号地质异常体的西部高点上打的轮南1井,上三叠统4771—4800m井段取到含油岩心,经中途测试,具有一定的油气产能。储层为三角洲砂岩和砾岩。

在雅克拉构造上钻遇的地层,以沙参2井为例,自上而下为(康玉柱,1985):

第四系(Q):灰、黄灰色粉砂粘土、粘土质粉砂,厚113.5m。

上第三系上新统库车组(N<sub>2</sub>k):上部为浅黄色泥质岩夹灰色粉砂-细砂岩,下部为浅棕色及少量浅绿灰色泥岩夹浅褐色石英细砂岩、灰白色粉砂-细砂岩。厚度2647m。

中新统康村组(N<sub>1</sub>k):灰棕色泥岩粉砂岩及浅灰色细-粉砂岩,厚917m。

中新统吉迪克组(N<sub>1</sub>j):顶部为蓝灰色泥岩、粉砂质泥岩(厚约54m),上部为浅褐棕色、灰棕色粉砂质泥岩,下部为红棕色膏质泥岩夹浅褐色灰色泥岩。厚547m。

中新统苏维依组(N<sub>1</sub>s):上部为浅棕红色含膏泥岩、浅褐棕色泥岩夹黄褐色中-细砂岩、深灰色细砂岩;下部为浅褐色棕色棕红色泥岩、灰白色粉砂岩、黄色中-粗砂岩。厚273m。

下第三系库姆格列木组(Ek):棕红色粉砂质泥岩及粉砂岩夹细砂岩,厚度为360m。

下白垩统(K<sub>1</sub>):棕红色粉砂质泥岩、棕褐色泥岩夹棕色粉细砂岩,厚486m。

下侏罗—上三叠统(J<sub>1</sub>—T):上部为棕褐色泥岩夹灰紫色岩屑粉砂-细砂岩,灰白色含砾中-粗砂岩,厚109.5m。

奥陶系(O):灰白色中晶白云岩、硅质白云岩、深灰色灰岩夹燧石条带,厚度为36m。

钻到井深5391m时,发生了强烈的井喷,产出高产油气流,初产估算日产油1000多立方米,气200万立方米。

## 二、油气地球化学特征

本文重点对沙参二井原油和天然气进行了全面的地球化学分析,同时还对沙7井和轮南1井的油气也作了一些分析。为比较,还分析和收集了塔里木盆地有关的一些油气田、油井油气和油苗的资料。

### 1. 原油的一般性质

沙参2井原油的一般性质见表1。在表1中还列了沙雅隆起北面库车坳陷依奇克里克油田上侏罗统原油和康村上新统油苗、巴楚隆起曲一井下石炭统原油、西南坳陷西部克拉托油田上新统原油以及南部柯克亚油气田上新统原油的资料。

沙参2井原油的性质以含硫量稍高(0.43%)、低含蜡量(2.73%)、低凝固点(-9.5℃)和高钒镍比(7.76)为特征,并含微量的钒卞啉(13ppm)和镍卞啉(2ppm)。含硫量和钒镍比高于塔里木盆地所有其他油田、油井和油苗原油,含蜡量和凝

固点低于盆地中除曲一井下石炭统海相原油外的其他原油。沙参二井原油的这种性质不同于中国陆相原油高含蜡量（一般大于10%）、高凝固点、低硫和低钒镍比（一般小于1）的特征，而具有一般海相原油的特征。

沙参二井原油的族组成中饱和烃在74%以上，芳烃达22%，非烃和沥青质很低。

沙参二井原油饱和烃的分布（表2），有完整的正构烷烃系列，碳数从C<sub>10</sub>—C<sub>34</sub>，主峰位于C<sub>14</sub>，显偶数碳优势，OEP=0.84，Pr/nC<sub>17</sub>=0.36，Ph/nC<sub>18</sub>=0.41，植烷优势较强，Pr/Ph=0.48。轮南1井的原油饱和烃的分布类似于沙参二井的原油，只是正烷烃的分布具于双峰特征，除在C<sub>14</sub>有主峰外，C<sub>28</sub>处显另一个驼峰（图3）。沙参二井和轮南1井的原油饱和烃的这些分布具有某些海相碳酸盐原油的特征，而轮南1井正烷烃的分布还具双油源的混合原油的特征。根据这些特征，可以明显地把它们与塔里木盆地其它时代和地区的原油区分开来。

表1 塔里木盆地原油性质

油田或油井	时代	比重	颜色	粘度10 <sup>-3</sup> Pa·s (30℃)	凝固点 (℃)	含蜡量 (%)	含硫量 (%)	V/Ni
沙参2井	O <sub>2</sub>	0.83	深褐色	4.41	-9.5	2.73	0.43	7.76
轮南1井	T <sub>3</sub>	0.88	黑棕色	3.15	-4.5	6.78	1.43	4.97
依奇克里克	J <sub>2</sub>	0.82	浅褐色	2.04	2.0	6.20	0.01	0.86
康村油苗	N <sub>1</sub>	0.84	淡黄色	2.48	7.8	10.26	0.17	0.42
曲1井	C <sub>1</sub>	0.83	黄褐色	5.55	-27.0	0.73	0.05	0.44
克拉托	N <sub>1</sub>	0.84	黑棕色	7.73	14.2	12.67	0.08	
柯克亚	N <sub>1</sub>	0.78	棕黄色	3.23	4.5	5.95	0.05	2.28

据地矿部石油地质中心实验室和新疆石油管理局资料。

表2 塔里木盆地原油饱和烃分布

油井或油田	时代	碳数范围	主峰碳数	OEP	Pr/nC <sub>17</sub>	Ph/nC <sub>18</sub>	Pr/Ph
沙参2井	O <sub>2</sub>	C <sub>10</sub> —C <sub>34</sub>	C <sub>14</sub>	0.84	0.36	0.41	0.48
轮南1井	T <sub>3</sub>	C <sub>11</sub> —C <sub>35</sub>	C <sub>14</sub>	0.92	0.18	0.38	0.63
依奇克里克 (依30井)	J <sub>2</sub>	C <sub>11</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>14</sub>	1.01	0.43	0.10	4.60
康村油苗	N <sub>1</sub>	C <sub>11</sub> —C <sub>31</sub>	C <sub>14</sub>	1.05	0.05	0.02	2.33
曲一井	C <sub>1</sub>	C <sub>8</sub> —C <sub>32</sub>	C <sub>15</sub>	1.07	0.23	0.15	1.86
克拉托	N <sub>1</sub>	C <sub>11</sub> —C <sub>26</sub>	C <sub>19</sub>	1.07	0.38	0.27	1.37
柯克亚(柯1井)	N <sub>1</sub>	C <sub>12</sub> —C <sub>29</sub>	C <sub>14</sub>	1.03	0.32	0.14	1.40

## 2. 原油的稳定碳同位素组成

沙参二井原油同位素组成列于表3，总油的δ<sup>13</sup>C值与轮1井的原油相近，与库车坳陷依奇克里克油田上侏罗统和康村上新统油苗的富重碳同位素的原油有明显区别，但与塔里木盆地其他原油差别不大，特别与曲1井下石炭统的原油相似。

我国陆相原油δ<sup>13</sup>C在-26—-33‰，海相原油除四川三叠系和曲一井石炭系海相的在-31.3—-32.3‰外，富重碳同位素，在-22—-29‰之间，沙参二井和轮南1井原油的碳同位素组成可以作为油/油对比依据，而难于作为海陆相原油的指标。

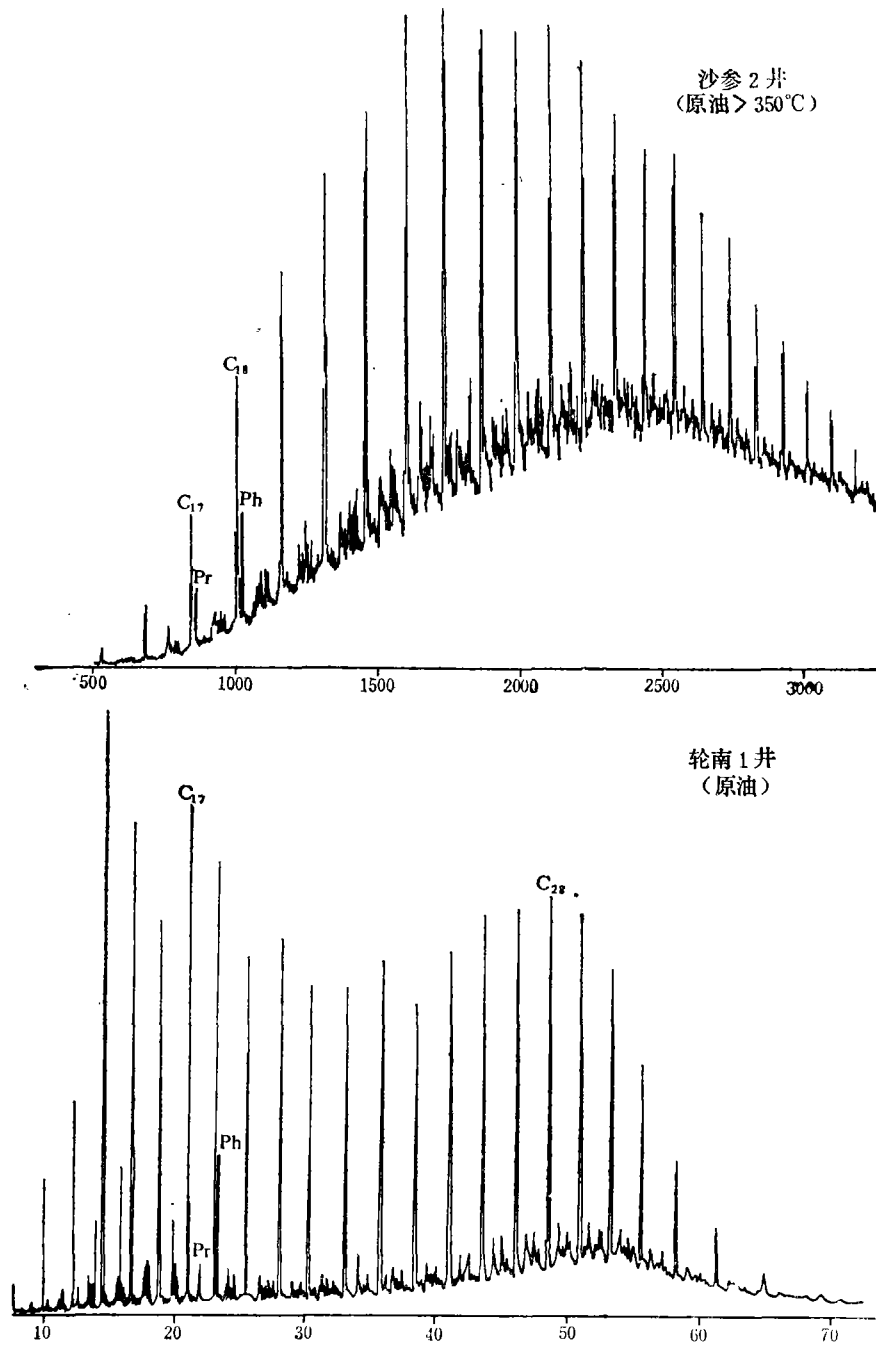


图3 沙参2井和轮南1井上三叠统原油饱和烃重建总离子流图

表3 塔里木盆地原油稳定碳同位素( $\delta^{13}\text{C}\%$ )

油田或油井	时代	总油	饱和烃	芳烃	非烃	沥青
沙参2井	O <sub>2</sub>	-32.38	-32.63	-31.27	-31.50	-32.31
轮南1-B井	T <sub>3</sub>	-33.53				
依奇克里克(464井)	J <sub>2</sub>	-26.48	-27.40	-25.45	-25.87	-26.94
康村油苗	N <sub>1</sub>	-25.69	-26.69	-23.17	-24.45	-26.29
曲一井	C <sub>1</sub>	-32.25	-32.61	-29.63	-29.26	-31.11
克拉托	N <sub>1</sub>	-30.43	-30.60	-29.43	-29.09	-29.72
柯克亚(柯416井)	N <sub>1</sub>	-30.61	-30.24	-28.46	-28.68	-29.66

据杨斌(1985, 1988)。

### 3. 原油的生物标记化合物

用气相色谱-质谱联用仪先后<sup>①</sup>系统检测了沙参2井、轮南1井原油中的生物标记化合物萜烷和甾烷。

#### 二环倍半萜烷和二萜烷

用GC-MS MID方法从沙参2井和轮南1井原油饱和烃中检测出了十分丰富的二环倍半萜烷和二萜烷。图4是用 $m/z$  123单离子检测轮南1井原油获得二环倍半萜类的分布, 其中有C<sub>14</sub>-二环倍半萜烷(C<sub>14</sub>H<sub>26</sub>, 分子量194)两个, C<sub>15</sub>-二环倍半萜烷(C<sub>15</sub>H<sub>28</sub>, 分子量208)五个和C<sub>16</sub>-二环倍半萜烷(C<sub>16</sub>H<sub>30</sub>, 分子量222)四个。philp等(1981)在澳大利亚许多盆地的陆相原油中曾发现分布很广的这类化合物, 我们在吐鲁番盆地七克台侏罗系和北部湾福五井第三系陆相原油中也曾检测出丰富的二环倍半萜, 陆源有机质似乎比海相的含有更多的倍半萜类前身物, 因此, 它们可能用来确定原油中陆源物质的输入。

图5是用特征离子 $m/z$  123多离子检测法测定的轮南1井原油中二萜类的分布。其中有C<sub>19</sub>-二萜烷(C<sub>19</sub>H<sub>34</sub>, 分子量262)三个, C<sub>20</sub>-二萜烷(C<sub>20</sub>H<sub>36</sub>, 分子量276)一个, C<sub>19</sub>-四环二萜烷(C<sub>19</sub>H<sub>34</sub>, 分子量260)一个。二萜类广泛分布于高等植物, 特别是树脂和原油中的二萜类仅有加拿大肯麦齐三角洲原油(Snowdon, 1978, 1980)、澳大利亚原油(Philp et al., 1981)和新西兰原油。虽然尚难确定二萜类化合物的精确结构, 但二萜类的存在本身就有可能证明陆源物质对原油的贡献。

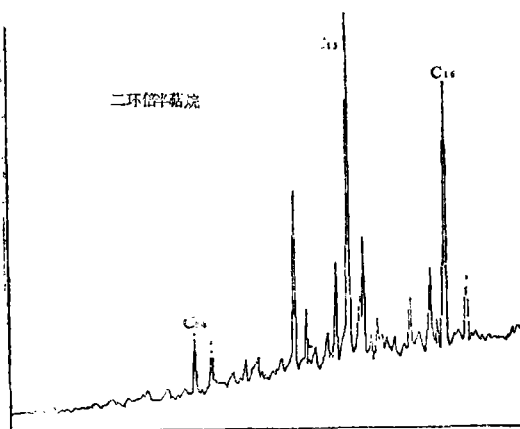


图4 轮南1井三叠系原油中二环倍半萜烷分布 ( $m/z$ 123单离子检测)

<sup>①</sup>克拉依玛油田蒋祖森, 1984; 兰州大学陈宁, 1988。

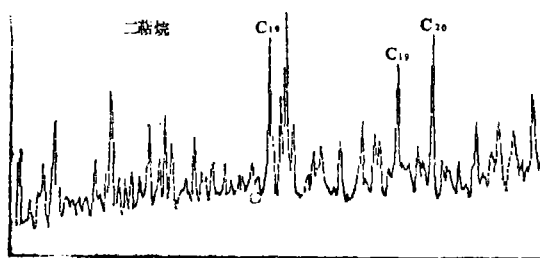


图5 轮南1井三叠系原油中二环萜烷的分布  
( $m/z$ 123多离子检测)

断藿烷是沉积物和原油中新鉴定出的一类分布广泛的四环萜烷 (Tren-del et al., 1982), 结构上与规则藿烷有关, 具C环开裂的藿烷型结构。这类化合物在未成熟的现代和古代沉积物中比较缺乏, 它很可能是五环三萜类化合物在地质成熟过程中热催化降解的产物, 或在早期成岩阶段五环三萜类化合物因微生物作用而开环, 而后又因还原作用成为相应的开环藿烷。

#### 三环、四环萜烷和五环萜烷

在沙参2井和轮南1井原油中含有丰富的三环、四环萜烷系列和完整的五环三萜烷系列。图7是用特征离子 $m/z$  191单离子检测法鉴定的沙参2井和轮南1井原油中三环、四环萜烷和五环三萜烷的分布, 鉴定结果见表4。

比较沙参2井原油和轮南1井原油的三环和四环萜烷分布, 从 $C_{10}$ 至 $C_{29}$ 的三环萜烷基本相似, 但轮南1井原油缺失两个 $C_{30}$ -三环萜烷(N、O)和一个 $C_{24}$ -四环萜烷(G)。Aquino Neto等(1983)研究了四十个原油后指出, 三环萜烷几乎分布于所有的原油中, 但不包括来源于陆源物质的原油。我国句容坳陷三叠系海相原油(句12井)、塔里木盆地曲1井下石炭统海相原油以及准噶尔盆地克拉玛依油田石炭系降解原油(蒋祖森, 1984)中也有广泛的分布, 吐鲁番盆地侏罗系和北部湾第三系典型的陆相原油则缺乏这些三环萜烷。三环萜烷的这种分布特征表明它们来源于微生物或藻类, 而不是陆源物质。四环萜烷在澳大利亚原油中丰度很高, 而常缺失三环萜烷(Philp, 1985), 表明它们来源于陆源物质。

沙参2井原油的五环萜烷与轮南1井原油相比, 多一个羽扇烷( $C_{29}H_{50}$ )和一个伽马蜡烷( $C_{30}H_{54}$ ), 并都含有丰度很高的 $17\alpha(H)$ ,  $21\beta(H)$ -30-藿烷。Tm/Ts和

#### 断藿烷

在沙参2井和轮南1井原油中检测出了 $C_{27}$ 、 $C_{29}$ 和 $C_{30}$ 断藿烷系列。图6是用特征离子 $m/z$  123单离子检测出来的轮南1井原油中断藿烷的分布。其中有 $C_{27}$ -断藿烷( $C_{27}H_{48}$ , 分子量272)三个,  $C_{29}$ -断藿烷( $C_{29}H_{52}$ , 分子量400)一个和 $C_{30}$ -断藿烷( $C_{30}H_{54}$ , 分子量414)一个。

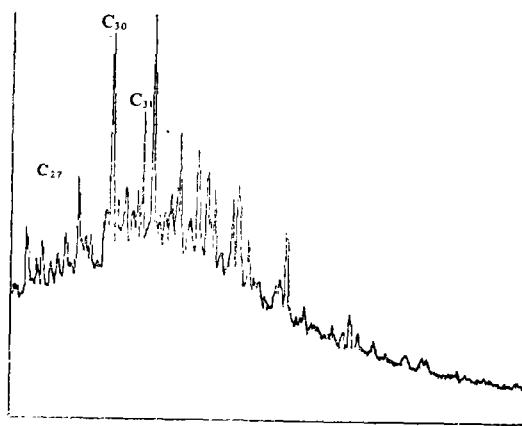


图6 轮南1井三叠系原油中断藿烷的分布  
( $m/z$ 123单离子检测)



$C_{25}\alpha\beta$  (22S/22R) 比值两个原油都相似, 前者分别为1.73和1.83, 后者分别为1.45和1.5。表明这两个原油虽然埋藏很深, 但成熟度不很高。

用特征离子 $m/z$  177检测结果, 沙参2井、沙7井和轮南1井原油的五环三萜烷中都含有25-降藿烷( $C_{29}H_{50}$ , 4号峰)和25, 30-二降藿烷( $C_{28}H_{48}$ , 3和4号峰)。25-降藿烷是由于生物降解作用藿烷类在10碳位脱甲基形成的产物, 克拉玛依油田降解原油和吐鲁番盆地石炭系严重生物降解油苗沥青中曾有类似的发现, Rullkott and Wendish (1982) 在马达加斯加生物降解沥青中也曾发现有25-降藿烷。雅克拉构造上寒武—奥陶系白云岩中的原油和轮南一号构造上三叠统砂岩中原油, 虽然埋藏在4700—5400m的深处, 却有25-降藿烷的存在, 表明它们曾经历过生物强烈降解作用或有遭受生物强烈降解过的油加入到这些油藏中。

在沙参2井和轮南1井原油中三环和四环萜烷比五环三萜烷稍占优势, 克拉玛依油田生物降解的原油中也有类似的这种分布特征, 除说明它们原始有机质主要由细菌和藻类等低生物外, 还可作为曾遭受过生物降作用, 富集了稳定性比五环三萜烷较高的三环、四环萜烷。

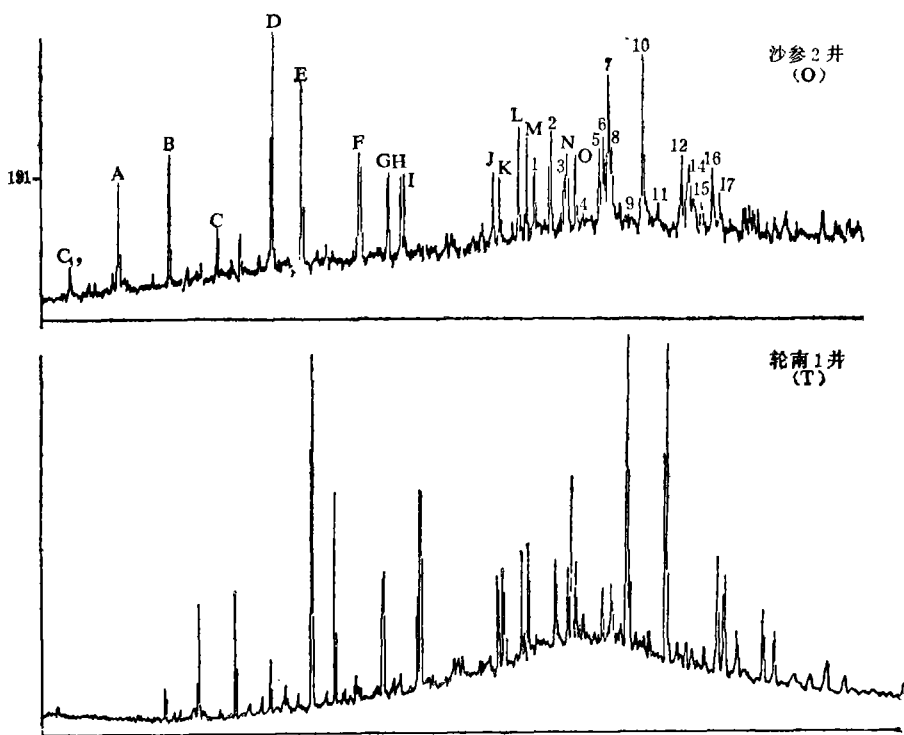


图 7 沙参2井和轮南1井 $m/z$  177质量色谱图 (鉴定结果见表4)

### 甾烷

沙参2井原油和轮南1井原油含有种类比较丰富的甾烷。图8是 $m/z$  217质量色谱图, 从图上可看出沙参2井和轮南1井原油中甾烷相似的分布特征。甾烷的鉴定结果见表5所列。

表4 原油中检出的三环、四环萜烷和五环三萜烷

序号	扫描号	分子式	分子量	名称
C	1176	C <sub>19</sub> H <sub>34</sub>	262	C <sub>19</sub> -三环萜烷
A	1299	C <sub>20</sub> H <sub>36</sub>	276	C <sub>20</sub> -三环萜烷
B	1428	C <sub>21</sub> H <sub>38</sub>	290	C <sub>21</sub> -三环萜烷
C	1549	C <sub>22</sub> H <sub>40</sub>	304	C <sub>22</sub> -三环萜烷
D	1688	C <sub>23</sub> H <sub>42</sub>	318	C <sub>23</sub> -三环萜烷
E	1702	C <sub>24</sub> H <sub>44</sub>	332	C <sub>24</sub> -三环萜烷
F	1907	C <sub>25</sub> H <sub>46</sub>	346	C <sub>25</sub> -三环萜烷
G	1980	C <sub>24</sub> H <sub>42</sub>	330	C <sub>24</sub> -四环萜烷
H	2014	C <sub>26</sub> H <sub>48</sub>	360	C <sub>26</sub> -三环萜烷
I	2022	C <sub>26</sub> H <sub>48</sub>	360	C <sub>26</sub> -三环萜烷
J	2248	C <sub>28</sub> H <sub>52</sub>	388	C <sub>28</sub> -三环萜烷
K	2264	C <sub>28</sub> H <sub>52</sub>	388	C <sub>28</sub> -三环萜烷
L	2314	C <sub>29</sub> H <sub>54</sub>	402	C <sub>29</sub> -三环萜烷
M	2333	C <sub>29</sub> H <sub>54</sub>	402	C <sub>29</sub> -三环萜烷
1	2354	C <sub>27</sub> H <sub>46</sub>	370	17β(H)-22,29,30-三降萜烷(Ts)
2	2395	C <sub>27</sub> H <sub>46</sub>	370	17α(H)-22,29,30-三降萜烷(Tm)
3	2438	C <sub>28</sub> H <sub>48</sub>	384	17α(H)-25,30-二降萜烷
N	2440	C <sub>30</sub> H <sub>56</sub>	416	C <sub>30</sub> 三环萜烷
O	2460	C <sub>30</sub> H <sub>56</sub>	416	C <sub>30</sub> -三环萜烷
4	2480	C <sub>28</sub> H <sub>48</sub>	384	17β(H)-25,30-二降萜烷
5	2521	C <sub>29</sub> H <sub>50</sub>	398	17β(H),21α(H)-莫烷
6	2540	C <sub>29</sub> H <sub>50</sub>	398	17α(H),21β(H)-25-降萜烷
7	2544	C <sub>29</sub> H <sub>50</sub>	398	17α(H),21β(H)-30-降萜烷
8	2573	C <sub>29</sub> H <sub>50</sub>	398	17α(H)-28-降羽扇烷
9	2594	C <sub>29</sub> H <sub>50</sub>	398	17β(H),21α(H)-30-降莫烷
10	2631	C <sub>30</sub> H <sub>52</sub>	412	17α(H),21β(H)-萜烷
11	2671	C <sub>30</sub> H <sub>52</sub>	412	17β(H),21α(H)-莫烷
12	2732	C <sub>31</sub> H <sub>54</sub>	426	17α(H),21β(H)-升萜烷(22S)
13	2746	C <sub>31</sub> H <sub>54</sub>	426	17α(H),21β(H)-升萜烷(22R)
14	2751	C <sub>30</sub> H <sub>52</sub>	412	伽马蜡烷
15	2782	C <sub>31</sub> H <sub>54</sub>	426	17β(H),21α(H)-升莫烷
16	2812	C <sub>32</sub> H <sub>56</sub>	440	17α(H),21β(H)-二升萜烷(22S)
17	2829	C <sub>32</sub> H <sub>56</sub>	440	17α(H),21β(H)-二升萜烷(22R)

沙参2井和轮南1井原油中甾烷的分布特征如下: 妊烷(C<sub>21</sub>H<sub>38</sub>)和高妊烷(C<sub>22</sub>H<sub>38</sub>)含量较高,沙参2井的(C<sub>21</sub>+C<sub>22</sub>)/ΣC<sub>29</sub>总规达0.06,轮南1井的稍低一点,规则甾烷的组成以C<sub>29</sub>占优势,达50%以上,C<sub>27</sub>为30%左右,C<sub>28</sub>在20%以下;含丰富的重排甾烷,大约相当于规则甾烷的一半,规则C<sub>29</sub>甾烷20S/(20R+20S)的比值小于0.5,在0.42—0.48之间。甾烷的这些特征表明原油具有海相和陆源混合母质的来源,原始母质中有较多的低等水生生物输入,原油虽属成熟的,但成熟度不高。

#### 4. 天然气地球化学特征

目前,在雅克拉构造仅在沙参2井和沙7井获得工业性天然气流,表6列出了它们的化学组成、烃类组成、甲烷碳氢同位素及稀有气体同位素等分析资料。

表5 沙参二井原油中甾烷

编号	扫描号	分子式	分子量	名称
(1)	1461	C <sub>21</sub> H <sub>36</sub>	288	C <sub>21</sub> 甾烷
A	1561	C <sub>21</sub> H <sub>36</sub>	288	妊烷
B	1711	C <sub>22</sub> H <sub>38</sub>	302	高妊烷
1	2126	C <sub>27</sub> H <sub>48</sub>	372	13β, 17α-重排胆甾烷(20S)
2	2167	C <sub>27</sub> H <sub>48</sub>	372	13β, 17α-重排胆甾烷(20R)
3	2196	C <sub>28</sub> H <sub>50</sub>	386	13α, 17β-重排胆甾烷(20S)
4	2225	C <sub>28</sub> H <sub>50</sub>	386	13α, 17β-重排胆甾烷(20S)
5	2231	C <sub>28</sub> H <sub>50</sub>	386	24-甲基-13β, 17α-重排胆甾烷(20S)
6	2273	C <sub>28</sub> H <sub>50</sub>	386	24-甲基-13β, 17α-重排胆甾烷(20S) +14α, 17α-胆甾烷(20S)
7	2302	C <sub>27</sub> H <sub>48</sub>	372	24-甲基-3α, 17β-重排胆甾烷(20S) +14α, 17α-胆甾烷(20R)
8	2313	C <sub>29</sub> H <sub>52</sub>	400	24-乙基-13β, 17α-重排胆甾烷(20S)
		C <sub>27</sub> H <sub>48</sub>	372	+14β, 17β-胆甾烷(20R)
9	2322	C <sub>29</sub> H <sub>52</sub>	373	14β, 17β-胆甾烷(20S)+ 24-甲基-13α, 17β重排胆甾烷(20R)
10	2346	C <sub>27</sub> H <sub>48</sub>	372	14α, 17α-胆甾烷(20R)
11	2361	C <sub>29</sub> H <sub>52</sub>	400	24-乙基-13β, 17α-重排胆甾烷(20R)
12	2380	C <sub>29</sub> H <sub>52</sub>	400	24-乙基-13α, 17β-重排胆甾烷(20S)
13	2410	C <sub>28</sub> H <sub>50</sub>	386	24-甲基-14α, 17β-胆甾烷(20S)
14	2420	C <sub>29</sub> H <sub>52</sub>	400	24-乙基-13α, 17β-重排胆甾烷(20R)
		C <sub>28</sub> H <sub>50</sub>	386	+24-甲基-14β, 17β-胆甾烷(20R)
15	2431	C <sub>28</sub> H <sub>50</sub>	386	24-甲基-14β, 17β-胆甾烷(20R)
16	2461	C <sub>28</sub> H <sub>50</sub>	386	24-甲基-14α, 17α-胆甾烷(20R)
17	2494	C <sub>29</sub> H <sub>50</sub>	400	24-乙基-14α-胆甾烷(20R)
18	2512	C <sub>29</sub> H <sub>50</sub>	400	24-乙基-14β, 17β-胆甾烷(20R)
19	2521	C <sub>29</sub> H <sub>50</sub>	400	24-乙基-14β, 17β-胆甾烷(20S)
20	2556	C <sub>29</sub> H <sub>50</sub>	400	24-乙基-14α, 17β-胆甾烷(20R)

### (1) 天然气的化学组成

沙参2井和沙7井天然气的化学组成反映油田气的特征(见表6)。

氮含量稍偏高。据M.L.扎尔金娜分类,天然气组份中氮含量小于5%为低氮气藏,6—15%为含氮气藏,大于15%为高氮气藏。雅克拉天然气属含氮气藏。

稀有气体氦和氩含量较高,分别为0.06%和1.23%。

汞的丰度为1.6—4.2×10<sup>3</sup> μg/m<sup>3</sup>,具油田伴生气的特征值(n×10<sup>2</sup>—n×10<sup>3</sup> μg/m<sup>3</sup>)。

### (2) 天然气的烃类组成

沙参2井和沙7井的天然气的烃类组成(表6)也反映出油田气的特征。重烃含量高达37%,乙烷含量比丙烷高,为干燥系数较低的干气。异丁烷/正丁烷比值分别为0.56和0.75,具有较好的对比性。

### (3) 天然气同位素组成

沙参2井和沙7井天然气同位素组成包括碳氢同位素、稀有气体氦氩同位素和氩同位

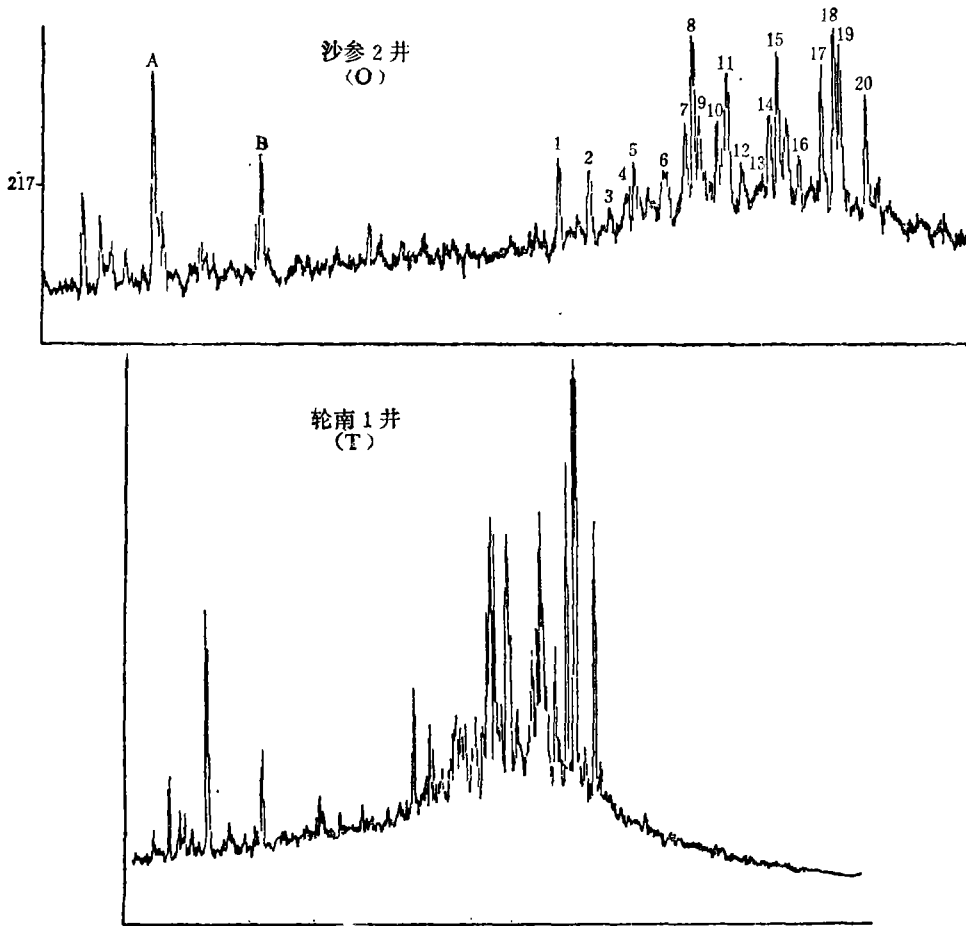


图 8 沙参2井和轮南1井原油饱和烃m/z 217质量色谱图 (鉴定结果见表5)

表6 沙参2井、沙7井天然气地球化学资料

井号	产层时代	井深 (m)	天然气类型	化 学 成 份 (%)							Hg ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
				CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	He	Ar	
沙参2井	O <sub>2</sub>	5363	油田气	79.25	6.03	—	5.35	0.05	0.06	1.12	$3.4 \times 10^3$
		5391.8		$4.2 \times 10^3$							
沙7井	e-O	5415.5	油田气	83.02	7.32	—	3.03	—	0.10	1.15	$1.6 \times 10^3$
		-5450		$2.1 \times 10^3$							

井号	烃 类 组 份 %							烃 类 组 成 特 征			
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	iC <sub>4</sub>	nC <sub>4</sub>	iC <sub>5</sub>	nC <sub>5</sub>	C <sub>2</sub> +(V/V)	C <sub>1</sub> /C <sub>2</sub> +C <sub>3</sub>	C <sub>2</sub> /C <sub>1</sub>	iC <sub>4</sub> /nC <sub>4</sub>
沙参2井	62.64	16.13	10.67	2.58	4.57	1.52	1.88	37.36	2.34	0.26	0.56
沙7井	62.45	21.80	9.92	1.91	2.67	0.06	0.07	37.55	1.99	0.35	0.75

井号	同 位 素 组 成				
	$\delta^{13}\text{C}_1$ (PDB‰)	$\delta\text{D}$ (SMOW‰)	$^3\text{He}/^4\text{He}$ ( $\times 10^{-6}$ )	$^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ ( $\times 10^9$ )	$^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ ( $\times 10^9$ )
沙参2井	-41.12	-200.5	0.217	133	3231
沙7井	-41.61	-194.0	0.228	117	2866

素(表6)。

利用天然气中甲烷碳同位素 $\delta^{13}C$ 值判断天然气藏的成因类型是较为有效的方法。以前在中原油田的研究中(朱家蔚等, 1985)曾得出煤成气、油田伴生气和混合气的 $\delta^{13}C$ (PDB‰)分别为: -28.16, -41.02和-33.66‰。雅克拉的天然气显然应属油田伴生气,  $\delta^{13}C$ 为-41.12—-41.61‰。应用伯纳德(Bernard, 1978)根据 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 烃类的组成与 $\delta^{13}C$ 资料绘制的烃类成因曲线图(图9), 沙参2井和沙7井天然气(在图中以三角形符表示)应属于热解成因的油田气。

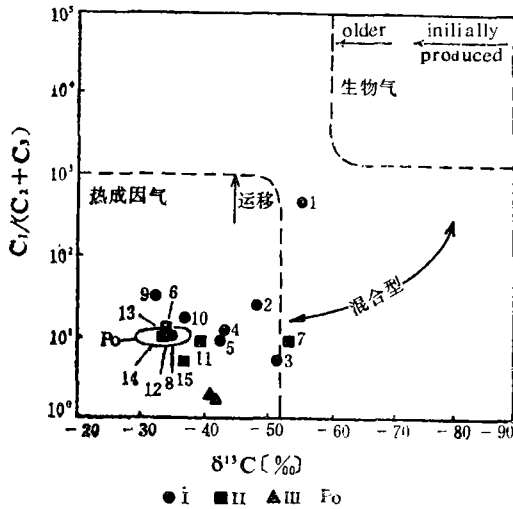


图9 雅克拉构造天然气的烃类组份与甲烷碳同位素关系

I. 沉积岩 II. 火成岩 III. 沙参2井、沙7井  
FO. 意大利北部波盆地(中生代)

自然界中氢同位素氘的浓度 $\delta D$ (SMOW‰): 陆相淡水贫氘为-20—-90, 海水富氘, 为0—-20, 海陆交互的成煤环境在二者之间。天然气中的氢主要来自有机质和水, 所以陆相石油伴生气甲烷通常贫氘,  $\delta D$ 在-230左右, 海相石油伴生气甲烷富氘,  $\delta D$ 在-190左右, 海陆交互的煤成气在-133—-155 (Schpell, 1980)。雅克拉天然气甲烷的 $\delta D$ 在-194—-200.5‰, 属于海相石油伴生气。

舍尔(Schoell, 1980)根据几百个样品测量结果, 提出了 $\delta C-\delta D$ 坐标系推测气体成因模式(图10)。沙参2井和沙7井天然气的点在图上以三角形表示, 恰位于海相腐泥型干气的位置。

天然气中稀有气体氦有两种稳定同位素 $^3He$ 和 $^4He$ 。拉普顿(Lupton, J.E.,

1983)推算出地幔、空气和地壳中 $^3He/^4He$ 分别为 $10^{-5}$ 、 $1.4 \times 10^{-6}$ 和 $10^{-8}$ 。雅克拉天然气中 $He/^4He$ 为 $0.217-0.228 \times 10^{-6}$ , 属于地壳气。空气和地幔的 $^3He/^{24}Ne$ 分别为0.318和10 (Snno, 1985), 而地壳介于其间。板田等(1986)研究日本深部火山岩中天然气成因应用氦同位素和氦氩比的相关关系(图11), 它们基本上沿着地幔和空气的混合线A分布, 以三角形表示的雅克拉天然气的点靠近空气和地壳混合线B, 所以雅克拉的天然气没有深部幔源气的混入和很少地表空气的混入。

天然气中氩同位素是稀有气体中研究得最广泛的同位素, 积累的资料也较为丰富。天然气中放射性成因的氩( $^{40}Ar$ )的丰度随着储层时代的变老而增大, 即所谓放射性成因氩的年代积累效应。据我们以前的资料, 在不同时代的天然气中 $^{40}Ar/^{36}Ar$ 分别如下: 第三纪(中原油田)平均为477, 石炭—二叠纪(中原油田)平均为1087, 石炭纪(克拉玛依油田, 车30井)为1222, 奥陶纪(华北油田泽43井)为1339, 震旦纪(威远油田)为7000以上。雅克拉天然气 $^{40}Ar/^{36}Ar$ 介于奥陶与震旦纪之间, 沙参2井和沙7井分别为3231和2866, 应来源于寒武—奥陶纪海相碳酸盐岩。

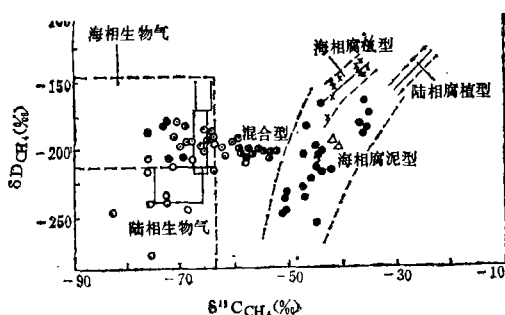


图10 雅克拉构造天然气的甲烷碳、氢同位素组成

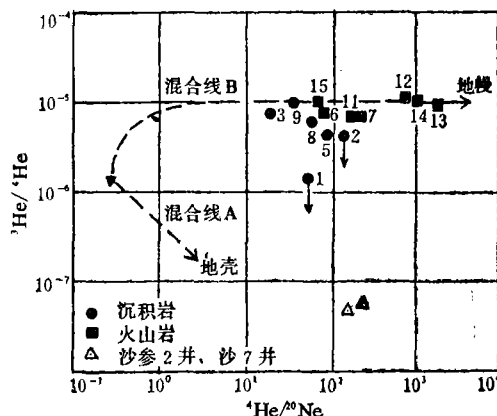


图11 雅克拉构造天然气的<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He和<sup>4</sup>He/<sup>20</sup>Ne关系图

### 三、沙雅隆起石油的生成、运移和聚集

根据前述沙雅隆起地质构造发展史的分析 and 油气地球化学特征的研究，我们提出关于该地区的石油生成、运移和聚集模式。

下古生界海相沉积岩特别是寒武—奥陶系碳酸盐岩中丰富的有机质在海西运动前就第一次生成、运移并聚集成油气藏，经海西运动沙雅地区长期隆起，受到风化剥蚀，使下古生界的海相油气藏受到严重破坏，原油受强烈的降解作用，以25-降藿烷大量出现为标志。在印支和燕山运动时期，这个地区下陷成湖，在沙雅隆起区沉积了200—800m三叠—侏罗系，沙雅隆起南北的断陷带最厚沉积了4000多米有机质丰富的湖相沉积。在新生代塔北继续下陷，沉积了巨厚的第三系红色沉积，含膏盐层，成为很好的盖层。下古生界的残余有机质二次生成油气，运移聚集到沙雅隆起区；上三叠系生油岩也开始生油，隆起南北的深拗陷特别是南边满加尔至阿瓦提拗陷上三叠统中生成的油，沿着断层和不整合面向沙雅隆起运移，在雅克拉构造形成了古生界生油层二次生成的油气和上三叠统生成的油相混合的油气聚集。就这样，天然气具有下古生代（<sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar值高）海相腐泥型干气的特征，原油具有海相和陆相混合油的特征。含有某些陆源生物标记化合物，成熟程度不太高，既含有强烈降解标志的25-降藿烷，又有完整的正构烷烃系列，既具有古生界海相原油特征，又含有陆相三叠纪孢子花粉（江德昕等，1986）。

沙雅隆起雅克拉构造东面轮台一号地质异常体西部高点上轮南1井中上三叠统的油类似于沙参2井和沙7井的油，也具有海相和陆源混合油的特征，一部分来自古生界海相源岩一次和二次生成的油，另一部分来源于陆相三叠—侏罗系的生油层。

在一个地区，有多种油源比只有单独的油源具有更大的油气资源的潜力，在沙雅隆起及其邻近地区不同层位的圈闭中还可能找到单独的古生界海相来源的油气藏和单独的三叠—侏罗系陆相来源的油气藏。

（收稿日期：1988年12月2日）

## 参 考 文 献

- [1] 康玉柱, 贾润胥等, 1985, 塔北沙雅隆起地质构造特征及找油前景, 石油与天然气地质, 第6卷第1期。
- [2] 胡伯良, 1981, 塔里木盆地石油有机地球化学特征和油源问题探讨, 石油与天然气地质, 第2卷第4期。
- [3] 胡伯良等, 1979, 塔里木盆地原油中碳位素的分布, 石油地质文集(油气), 地质出版社, 1982。
- [4] 徐永昌, 1976, 稀有气体及其同位素在石油地质学上的应用, 《石油地质学论文集》, 科学出版社。
- [5] 徐永昌等, 1979, 天然气中稀有气体同位素, 地球化学, 1979年第4期。
- [6] 朱家蔚, 徐永昌, 申建中, 沈平, 1983, 东濮凹陷天然气氩同位素特征及煤成气判别, 科学通报, 1983年第1期。
- [7] 申建中等, 1988, 东濮凹陷煤成气氩同位素地球化学特征及气源对比, 沉积学报, No.3。
- [8] 杨斌, 吴湘利, 1988, 轮南异1—B井中生界含油岩心几个地质问题的推断, 新疆石油地质, 第9卷第2期。
- [9] 康玉柱, 1985, 塔里木盆地沙雅隆起高产油气流的发现, 新疆地质, 第3卷第1期。
- [10] 蒋助生, 1984, 克拉玛依原油中的降解甾烷和萜烷, 有机地球化学和陆相生油, 石油工业出版社, 1986。
- [11] 江德昕, 杨惠秋, 1983, 新疆库车凹陷原油孢粉集合与油源岩, 植物学报, 第25卷第2期。
- [12] Hunt, J.M., 1979, Petroleum geochemistry and geology. Freeman, San Francisco.
- [13] Huang, W.Y. and W.G.Meinschein, 1979, Sterols as ecological indicators. *Geochim et Cosmochim. Acta*, Vol.43, P.739-745.
- [14] Mackenzie, A.S., 1984, Application of biological markers in petroleum geochemistry. In *Advances in Petroleum Geochemistry*, Vol.1, P.115-214.
- [15] Mackenzie, A.S. and Durand, B. et al., 1980, Molecular Parameters of maturation in the Toarcian shale, Paris Basin, France-I. Changes in the configurations of acyclic isoprenoid alkanes, steranes and triterpanes. *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol.44, P.1709-1721.
- [16] Philp, R.P., 1985, Biological markers in fossil fuel production. *Mass Spec. Reviews*, P.1-54.
- [17] Philp R.P., and T.D.Cilbert, 1985, The detection and identification of biological markers by computerized Gas chromatography Mass spectrometry. *Biological Markers in the Sedimentary Record*. Editor R.B.Johns, Elsevier. P.227-244.
- [18] Philp, R.P., 1985, Fossil Fuel Biomarkers Applications and Spectra. Elsevier.
- [19] Philp, R.P. et al., 1981, Bicyclic sesquiterpenoids and diterpenoids in Australian crude oils. *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol.45, P.1173-1180.
- [20] Powell, T. and Mckirdy, D.M., 1973, Relationship between ratio of Pristane to phytane, crude oil composition and geological environments in Australia. *Nature*, 243, 37-39.
- [21] Schoell, M., 1980, The hydrogen and carbon isotope composition of methane from natural gases of various origins. *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol.44, No.5.
- [22] Seifert, W.K. and J.M. Moldowan, 1978, Applications of steranes, terpanes and monoaromatics to maturation, migration and source of crude oils. *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol.42, P.77-95.
- [23] Seifert, W.K. and Moldowan, J.M., 1979, The effect of biodegradation on steranes and terpanes in crude oils. *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol.43, P.111-126

- (24) Seifert, W.K. and J.M. Moldowan, 1986, Use of biological markers in petroleum exploration. *Biological Markers in the Sedimentary Record*. Editor R.B. Johns, Elsevier, P. 227-244.
- (25) Susumu Sakata et al., 1986, Geochemical study on genesis of natural gases accumulated in deep volcanoclastic rocks. *Jour. Japanese Association for Petroleum Technology*, Vol. 51, No. 3, P. 32-41.
- (26) Tissot, B.P. and D.H. Welte, 1984, *Petroleum Formation and Occurrence*. Springer, Heidelberg. P. 93-129.
- (27) Yan Yagui, Yang Shizhuo and Hu Boliang et al., 1983, Some problems concerning petroleum geology of the Tarim Basin. *Scientia Sinica (Series B)*, Vol. 26, No. 11, P. 1201-1215.

## GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF HYDROCARBONS IN YAKELA STRUCTURE OF SHAYA UPLIFT IN NORTHERN TARIM BASIN AND THEIR GENERATION, MIGRATION AND ACCUMULATION

Hu Boliang                  Shen Jianzhong

(Lanzhou Institute of Geology, Academia Sinica)

### Abstract

The geochemical characteristics, and the generation, migration and accumulation of hydrocarbons in Yakela structure of northern Tarim basin were systematically discussed with abundant data. Based on the analysis of the history of structural evolution, the authors proposed a model for hydrocarbon generation, migration and accumulation in the region by full use of the geochemical characteristics.