

克拉玛依油田形成中石油运移的地球化学

黄第藩 李晋超 张大江

(石油工业部石油勘探开发科学研究院, 北京)

摘 要

本文利用石油和岩石之间在非烃、沥青质、甾烷和萜烷组成上的差别, 揭示了克拉玛依油田形成中鲜明的运移地球化学现象。对油源区与油田之间深井中欠压实带和烃类亏损现象的研究, 进一步阐明了油气运移的条件。结果表明, 油气经长距离侧向运移, 而后在大型隆起带上聚集起来, 并沿克-乌大断裂重新分配, 是这个大油田得以形成的必要条件。

关键词: 石油运移, 地质色层效应, 欠压实带, 异胆甾烷

石油有机成因说的基本出发点之一, 是认为油气聚集的场所一般并非其生成的源地 (即生、储异地), 生油层系中排出的烃类, 是油气田得以形成的物质基础。因此, 从生油层所取得的种种地球化学资料, 原则上是不宜于单纯从石油生成的角度予以解释和归纳的。近几年来, 随着石油地球化学实验技术的进步, 不仅在油气生成, 而且在运移的地球化学这个相当薄弱的假设多于理论的研究领域中, 也取得了某些重要进展^[1-4]。

本文揭示了克拉玛依油田形成中鲜明的运移地球化学现象。结果表明, 油气经长距离侧向运移而后在大型隆起带上聚集起来并沿克-乌大断裂重新分配, 是这个大油田得以形成的必要条件和特色。有关克拉玛依油田的运移问题, 1984 年, 杨斌、范光华和支家生^[5,6], 曾有报道, 而我们的研究则提供了新的资料和见解。

克拉玛依油田位于准噶尔盆地西北缘的山前地带, 在构造上, 它位于一个大型的北东向断阶状隆起带上。这个隆起带, 开始形成于晚古生代后期, 各时代的地层均有向这里变粗、减薄以至尖灭的现象。鉴于克拉玛依油气聚集带本身的生油条件不佳, 主力油源区在玛纳斯湖拗陷中部, 因此, 克拉玛依油田运移地球化学的研究, 就显得极为重要了。

应该指出, 这项油气运移地球化学的研究是在干酪根类型、油源对比和原油的自然生物降解作用研究的基础上进行的。有关研究, 将另文发表。油源对比的结果表明, 克拉玛依油田的主力油源层是上二叠统, 其次为下二叠统风成城组 (P₁f, 该组所属时代尚有争论), 并且主要成油母质属腐泥型 (I 型) 和中间型 (II 型)。刘雯林所进行的地震地层学的研究 (1984 年) 表明, 在油田南侧的约 13500 km 的玛纳斯湖拗陷中, 有一套深湖相的二叠系地层存在, 是为克拉

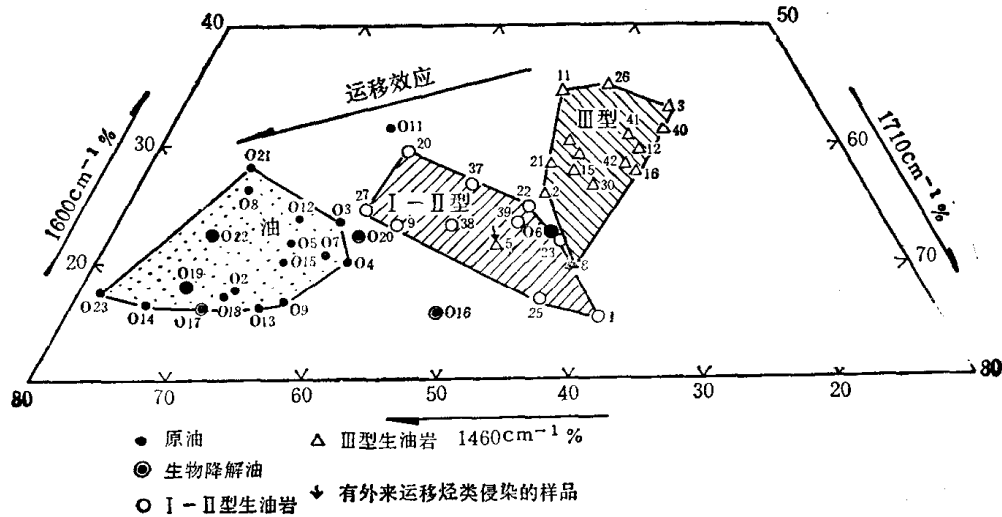


图 2 原油和岩石中非烃组分的红外光谱三角图

烃类和水一起排出,而富集于油藏之中。残留者,自然是更为重质的,极性和吸附性更强的部分。在图 2 中可以看出,运移效应是显而易见的。

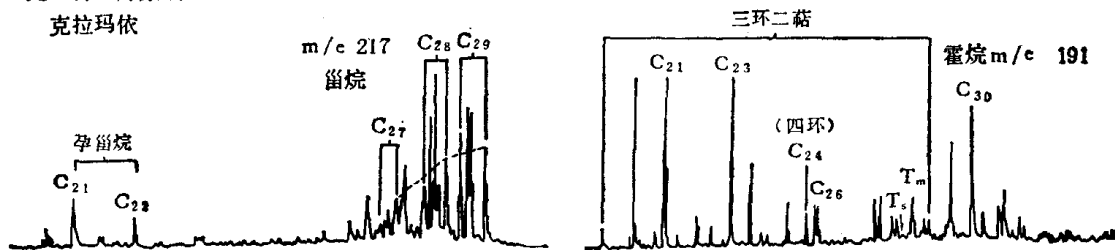
二、从甾烷类组成的特征上所观察到的运移现象

克拉玛依原油,其成熟度并不很高,属于一般正常成熟的原油。但是,其异胆甾烷含量高,是异乎寻常的,并远远超过了异构化的终点。无疑这是一种与运移作用有关的异胆甾烷差异聚集的现象。因为异胆甾烷的运移能力高于正常胆甾烷 ($5\alpha, 14\alpha, 17\alpha$ — C_{27} — C_{29}), 因此,它们在原油中富集了(图 3 (a))。

在油源对比的基础上(结果将另文刊出),把原油和那些有直接或间接亲缘关系的油源岩

(a) 九区古13井原油 915—991 m (P_{1f})

克拉玛依

(b) 火南1井原油1802 (P_{2p})

东部

(c) 齐古1a井原油 (J₁)

南部

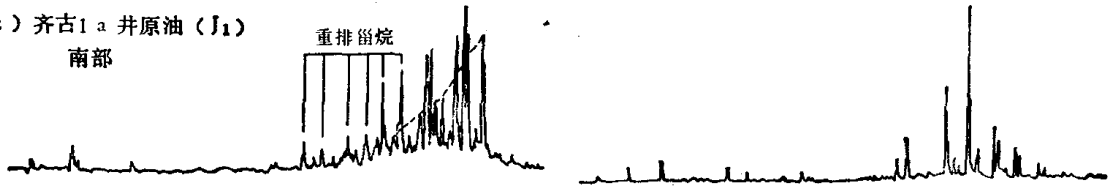


图 3 古-13 井、火南 1 井和侏罗系原油甾烷和萜烷的质量色谱

挑选出来,编制了一张 C_{29} 重排甾烷,异胆甾烷和胆甾烷的百分组成三角图(图 4)。在这张图上,油、岩点群的分布基本上没有重合。那些源岩的点群,因其胆甾烷含量丰富而分布在左侧一个狭窄的带状范围之中。而在克拉玛依原油中,异胆甾烷富集,比较集中地分布在右侧。在这里,总的来看,运移效应是一目了然的。还值得注意的是,图中风成城沥青脉的点(022号)是落在西北缘原油的点群之中,证明它们不仅同源而且运移的距离也相近。油源对比证明,风成城沥青可以与三工河原生沥青(020号)类比,两者的源岩性质相近,只是由于三工河原生沥青并未受到二次运移的影响,因此也就没有出现异胆甾烷的优势。可见,这两种沥青脉在性质上

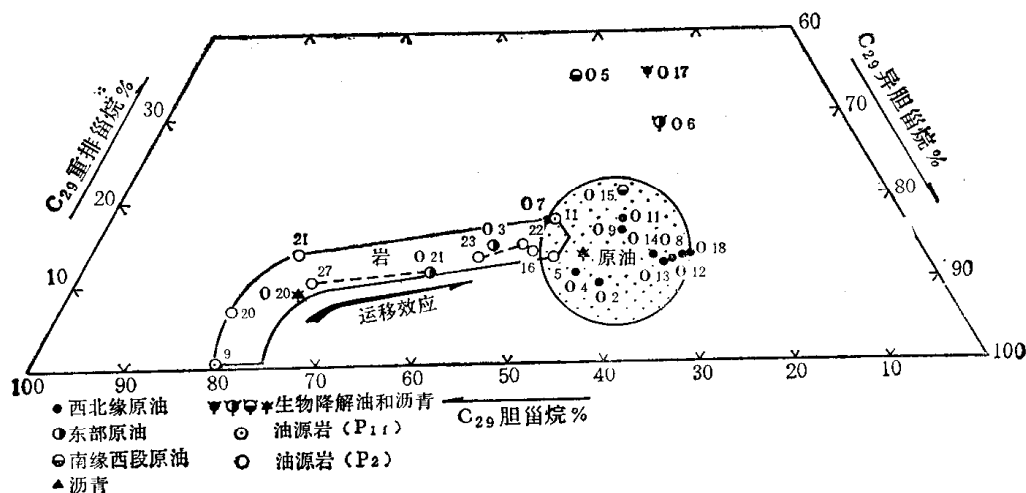


图 4 油、岩中 C_{29} 甾烷类的分类组成三角图(示运移效应)

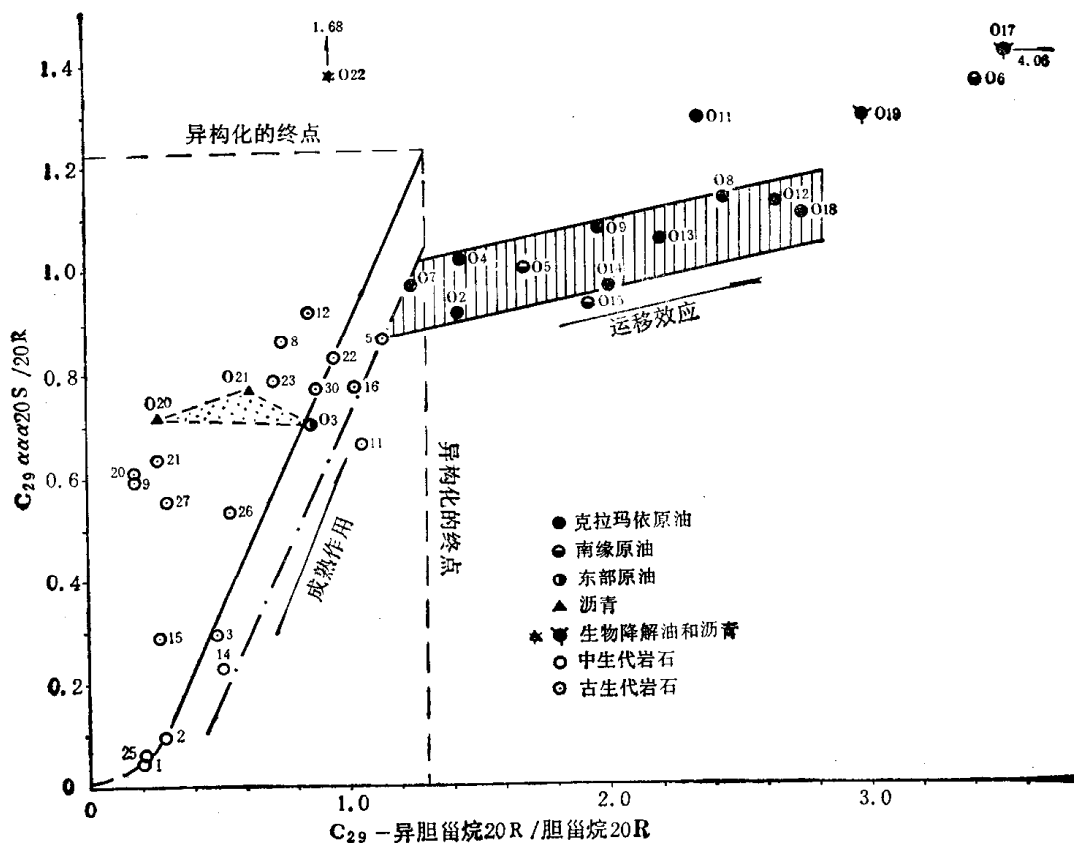


图 5 由 C_{29} 异胆甾烷 20R/胆甾烷 20R 所标示的油、岩中烃类的运移效应图

的差别, 在于运移效应的大小。

由图 5 可知, 克拉玛依原油成熟度相近, 除个别样品外, 它们的 $\alpha\alpha\alpha\text{C}_{29} 20\text{S}/20\text{R}$ 的值变化在 0.9—1.1 之间, 这是一种基本成熟了的原油。但是原油的 C_{29} 异胆甾烷 $20\text{R}/\text{胆甾烷 } 20\text{R}$ 的值, 对正常原油都高达 1.2—2.8 (严重生物降解油更高), 不仅都高于任何岩石中所测定的数值, 而且也超过异构化的终点。显然, 这是一种运移效应。也就是说, 克拉玛依油田的形成, 主要是来自侧方油源区中的石油经过长距离侧向运移的结果, 并且有明显的色层效应发生。同时, 我们还注意到, 西北缘西段的石油较之东段, 其运移效应更为明显。也就是说东段比西段近油源。从范光华进行生油岩计算时所确定的油源区的范围来看, 是与这一结论相符的。

还值得注意的是, 盆地东部三台石油, 火南 1 井石油和三工河原生沥青, 却没有发现明显的运移效应(图 5 中三角形所示)。可见, 这些石油的形成, 与西北缘不同。它们具有近油源的特点。同时, 从地质背景上分析, 这些石油的形成, 也不具备长距离侧向运移的条件——长期继承性隆起和单一的构造大斜坡。而在南缘的乌鲁木齐山前拗陷中, 中生界的原油 (05, 015 号点) 则有一定的运移效应存在(同时参见图 3 (b), (c))。

三、从萜烷类组成的特征上所观察到的运移现象

克拉玛依原油的成熟度并不高, 但三环二萜却异常丰富, 其相对含量明显高于原油中的五环三萜类, 是为一重要特征。这种现象在任何油源岩中不曾见到, 无疑是一种明显的运移效应。由于三环二萜烷分子小, 其迁移能力明显地高于五环三萜烷, 因此在原油中富集了(图 3 (a))。生油岩中三环二萜的含量明显高于五环三萜的情况 (三环/五环 > 0.7), 过去只在柴达木早二井高成熟生油岩中发现过^[7]。

我们以藿烷系列的五环三萜、基峰 $m/e = 191$ 的三环二萜系列和基峰 $m/e = 123$ 的三环二萜系列(松香烷系列)的相对百分含量, 编制了三角图(图 6)。从图中可知, 在岩石中, 藿烷系列的含量不低于 60%, 而在克拉玛依油田的较正常原油中, 则要低得多, 不超过 50%, 最

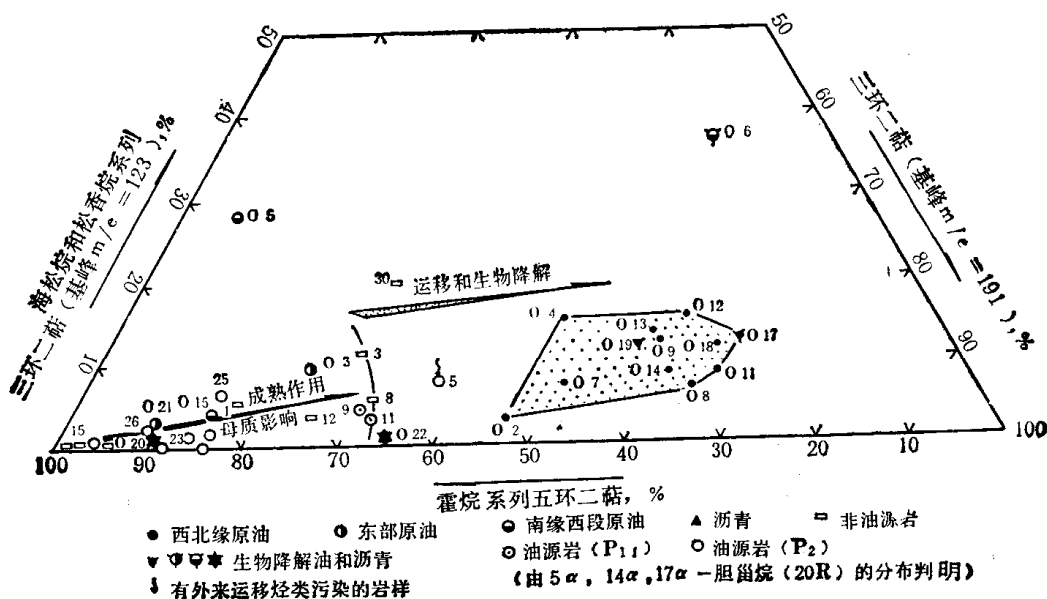


图 6 三种萜烷系列化合物百分组成三角图

低 25% 左右。这足见西北缘的原油中三环二萜烷富集了, 运移效应是显而易见的。

与前述甾烷的研究结果一致, 在火南 1 井和三台的原油中, 同样没有观察到明显的运移效应, 它们与岩样处于同一范围之中, 反映了近油源的特点。而风成城沥青脉与三工河原生沥青相比较, 两者也同样存在着运移效应上的重大差别。

由图 7 中可以看出, 克拉玛依原油基本成熟了, 其 $\alpha\alpha\alpha\text{-C}_{29}$ 20S/(20S + 20R) 的值为 0.5 左右。但是其 $m/e = 191$ 三环二萜/藿烷的值则普遍高于岩石, 变化在 0.9—2.7 之间。这说明在克拉玛依油田的形成中, 石油经过了长距离的侧向运移, 并因地色层效应而导致了三环二萜烷在原油中富集, 这种运移效应与甾烷的研究结果相一致 (图 7)。但在盆地东部和南部的石油中不明显, 反映了这些石油具有近油源并沿裂缝的垂直运移为主的特征, 故色层效应不明显。

从图 7 中同样可以看出, 克拉玛依油田的原油运移距离, 西段大于东段, 原油中三环二萜的相对含量西段也大于东段。

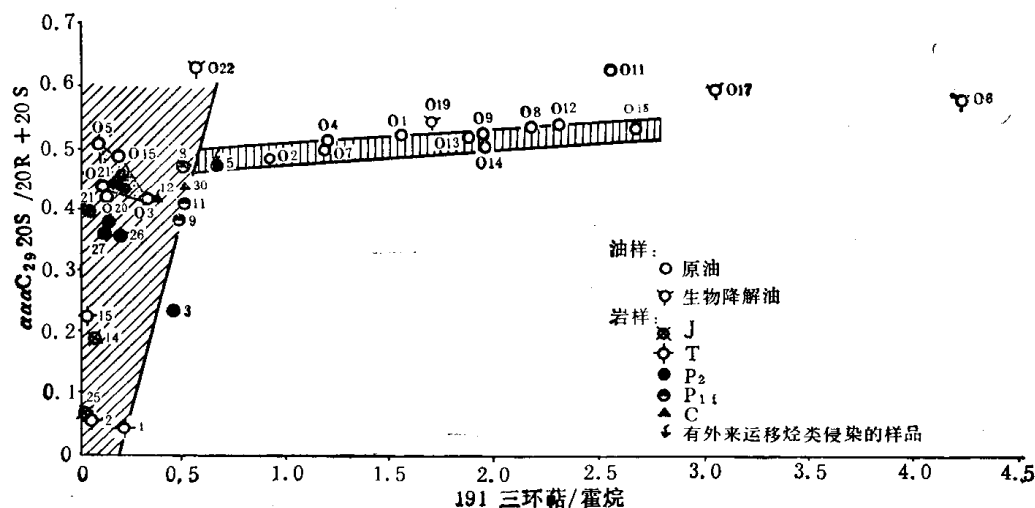


图 7 由三环萜/藿烷所标示的油、岩中烃类运移效应

四、艾参 1 井的欠压实作用和烃类的亏损现象

由于成烃过程所造成岩石中有机质体积的膨胀, 是欠压实带形成的重要原因之一。因此, 这个带的存在通常也是成烃作用已经发生的标志, 其出现的深度大致与成烃门限深度一致的。

据闵育顺等的粘土矿物的研究资料来看, 可知艾参 1 井粘土矿物组合的特征与埋深有关, 也受地质时代沉积环境和物源成分的不同所制约。如图 8 所示, 侏罗系 (底界深度 2830 m) 的粘土矿物组合, 以高岭石和伊利石为主, 高岭石含量普遍高达 30% 以上。显然与侏罗系的相近, 但成油的矿物学条件变好。该组合以伊利石为主 (占 40—50%), 高岭石含量明显减少了, 不超过 20%, 且蒙脱石与伊利石层间矿物和绿泥石含量增长。这是一种湖沼相条件下的产物, 并经历过一定热力作用了。

二叠系粘土矿物组合的特征与中生界地层迥然不同, 高岭石几乎完全消失。在它的上部 3788—4400 m 井段, 却意外地存在一个伊利石、蒙脱石为特征的粘土矿物组合带, 其蒙脱石含量可达 25—40%, 绿泥石的含量, 也是全井最高的, 可达 20% 左右。这个蒙脱石带的产生与火

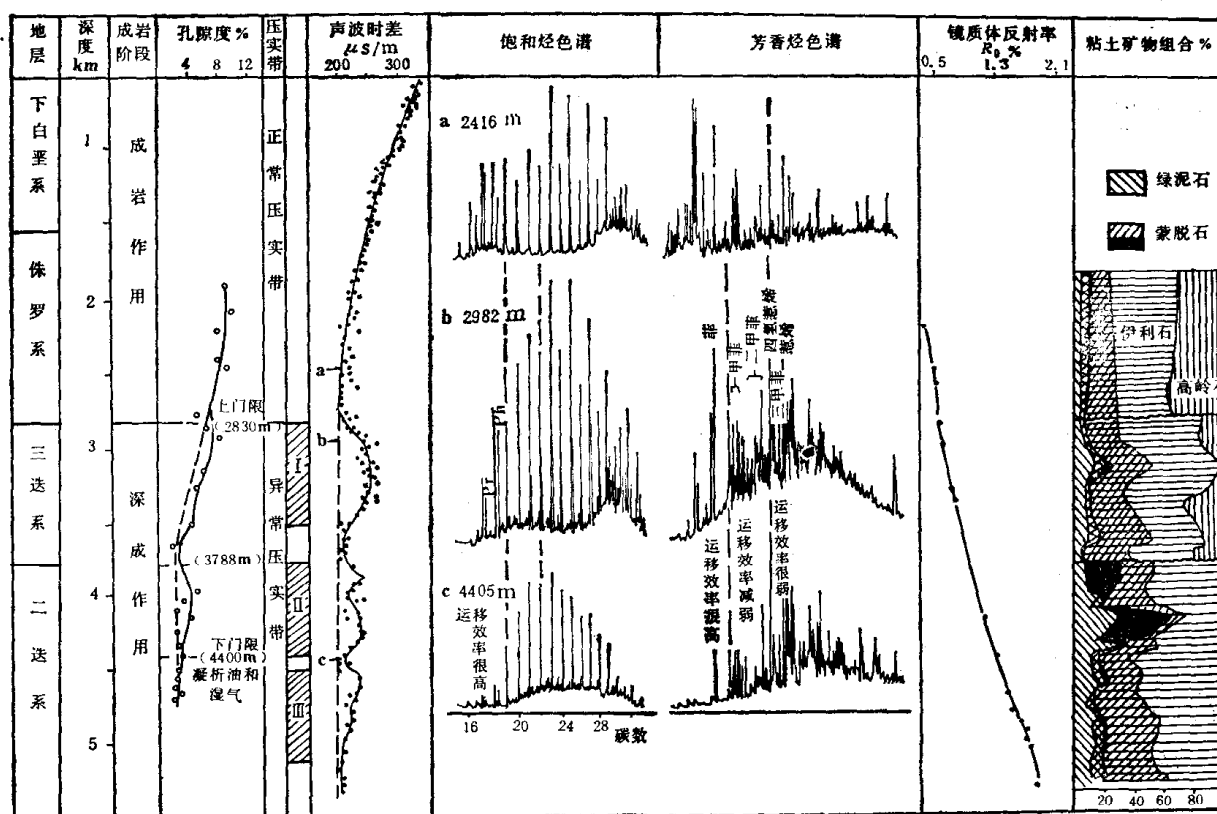


图8 艾参1井油气运移资料汇编

山凝灰质沉积密切有关,应属凝灰岩段的特征粘土矿物组合。在4400 m以下井段中蒙脱石急剧减少,以至消失。但伊利石/蒙脱石间层矿物、蒙脱石/绿泥石间层矿物增多。在4800 m以下,其量可达40%以上。可见,艾参1井的二叠系地层成油的矿物学条件特别是自4400 m深度以下,属全井最好的一个层段。

艾参1井现今地温梯度不高,在中生代地层井段,仅 2°C 左右($1.86-2.16^{\circ}\text{C}$)/100 m,上二叠统井段也只有 $2.45^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 。因此,有机质演化速率不高。其成烃门限深度为2830 m(地温 60°C),恰位于侏罗系与三叠系的分界处,相应的 R_0 值=0.56%;而4400 m(地温 94°C)的 R_0 值=1.3%,是为液态窗下限。这个带又与二叠统中两个不同粘土矿物组合的分界深度相一致。总的来看,艾参1井生油条件欠佳,有机质类型均属III型,相对较好的生油层段出现在4400 m以下二叠系的间层粘土矿物组合之中。即对艾参1井来说,较好的生油层段处于湿气演化阶段之中了。

对艾参1井泥岩中的声波时差研究证明(图8),该井明显存在着欠压实段。当正常压实泥岩的声波时差值为 $250\mu\text{s}/\text{m}$ 时,而欠压实泥岩,密度变小,声波传播速度较慢,以 $30-50\mu\text{s}/\text{m}$ 的增值而显示出泥岩的欠压实状态。艾参1井的第一个欠压实带出现在成烃门限深度2830 m以下的三叠系地层中,一直延伸到3500 m方才消失,跨距600 m左右。第二个欠压实带出现在井段3788 m以下直至4900 m的上二叠系地层中,并可以4400 m为界分为上、下两段。上段恰与粘土矿物组合的蒙脱石带相吻合,下段隶属间层矿物带,并已处于有机质成烃演化的凝析油+湿气阶段之中了。两个欠压实带的存在,证明了艾参1井三叠系和上二叠统地层中,不仅有油气生成过程发生,而且存在着油气运移的良好条件。根据泥岩孔隙度的分析资料(图

8),在欠压实带,泥岩孔隙度较正常值增加 2.0—2.5% (绝对值)。这在艾参 1 井有机质演化进入成烃门限以后,其泥岩孔隙度已降低到 6% 以下,是对油气运移是十分必要的数量。它相当于泥岩孔隙度相对增大了 30—50%,否则,泥岩中的烃类必将难以排出。

艾参 1 井烃类运移作用的存在,可以从不同深度的泥岩中饱和烃和芳香烃的组成分布上获得直接的证据。在图 8 中,我们把艾参 1 井的泥岩孔隙度、声波时差、镜质体反射率(R_o %),以及艾 1-2、艾 1-4 和艾 1-7 3 块样品的饱和烃和芳烃色谱汇编在一起,从中不难看出该井烃类运移的条件及其对烃类分布的影响。其中艾 1-2,深 2461 m,处于门限深度(2830 m)之上的正常压实带, $R_o = 0.5\%$,未成熟;艾 1-4,深 2982 m,处于门限深度之下的欠压实带, $R_o = 0.6\%$,低成熟;艾 1-7,深 4405 m, $R_o = 1.34\%$,高成熟,处液态窗下限,压实情况基本正常。

把艾 1-7 号样品可抽提烃类的分布与成烃门限深度附近的样品加以比较,则不难发现那种与烃类初次运移有关的亏损现象。本来,对高成熟的艾 1-7 号样品,应该显示出 C_{20} 以下的轻质烷烃的优势,以及二环和三环芳烃的优势。但实际上,这种优势不仅没有出现,而且轻质烷烃和二环、三环芳烃明显地损失了,这只能是轻质烃的运移效率高,已经从源岩中排出,残留者甚少的缘故。

总之,通过艾参 1 井的研究证明,盆地西北缘的二叠、三叠系地层中不仅存在油气初次运移的良好条件,而且这一运移作用也确实发生过,并在岩石中烃类的分布上留下了明显的踪迹。

综上所述,对克拉玛依油田运移的地球化学研究证明,至少克拉玛依油田的主要油源区,并不在油田本身这个大型断阶隆起带中,而应该是在它的南侧的拗陷之中。在克拉玛依原油中,如此鲜明的运移效应,是全国其它油田中罕见的。这只能是来自油源区的石油经历过长距离的侧向运移,而后才得以聚集的结果。

在我们采集样品和进行色谱分析的过程中,得到了杨斌、范光华和蒋助生等同志的大力支持和帮助,在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] Seifert, W.K. and Moldowan, M., *GCA*, **45**(1981), 783—794.
- [2] Espitalie, J., Madec, M. and Tissot, B., *AAPG*, **64** (1980), 1:59—66.
- [3] Vandenbroucke, M. and Purand, B., in *AOG*, 1981, 147—155.
- [4] Leythaeuser, D. et al., *AAPG*, **68**(1984), 2:196—219.
- [5] 杨斌、支家生,新疆石油地质, 1984, 1: 16—25.
- [6] 范光华、支家生,新疆石油地质, 1984, 2: 51—59.
- [7] 黄第藩、李晋超等,陆相有机质演化和成烃机理,石油工业出版社, 1984.