

塔里木盆地气—液溶解平衡机制下的 原油轻烃行为及其地质意义^①

¹马柯阳 ²周永红 ¹申建中

¹ (中国科学院兰州地质研究所, 兰州 730000)

² (胜利油田职工大学, 东营 257004)

提要 塔北地区普遍存在气顶型凝析气藏和带油环的凝析气藏。与传统烃类热演化理论相矛盾的是: 1) 天然气的成熟度远高于油环原油或凝析油; 2) 高一过成熟天然气与同藏的原油间存在明显的物性不匹配。结合地质背景, 认为这种矛盾是由后期形成的干气进入已形成的油藏并溶解原油轻烃这一过程所致, 凝析气中的轻烃是气—液溶解平衡的产物。地质历史时期凝析气与油环分离或产生凝析油气藏或混入其它油藏的蒸发分馏作用过程导致了轻烃的油藏再分配, 形成了塔北地区纵向上原油轻烃的“反序”分布趋势及某些参数的异常分布。认为烃类的气—液相溶解平衡作用是原始原油轻烃分布特征后期演变的主要控制机制之一。其实质是不同性质轻烃气液两相差异性分配基础上的物理化学分异过程。

关键词 气—液相溶解平衡 物理化学 原油轻烃 分异 塔里木盆地

第一作者 马柯阳 男 29 助理研究员(硕士) 地球化学

引言

轻烃是原油、天然气、沉积岩中重要的烃类组成部分, 它在含油气盆地气—液—岩体系中的普遍存在以及所包含的可反映沉积环境、母质类型、成熟度等的丰富信息, 使之成为石油地球化学重要的研究对象。从已有的研究^[1-8]看, 目前国内外与轻烃相关的研究、应用相对集中于轻烃的形成机制, 基于轻烃的源岩—油—气对比, 成熟度参数和有机质类型、沉积环境判识几个方面。由于轻烃的分子量及分子体积相对较小, 因而决定了它在地质体及原油中相对活泼的运动属性, 这种易运动的属性往往会导致轻烃参数的不真实性。因此, 深入研究轻烃的各类可能运移机制及其过程中轻烃丰度的相对变化、规律, 对轻烃的正确应用十分有益; 目前已有的相关研究比较薄弱, 实际应用、研究中遇到的与其它诸多烃类参数、地质背景相悖的矛盾往往简单地用“运移”、“色层效应”等概括。

本文从烃类气—液相溶解平衡的角度出发, 对塔北地区海相油藏中原油轻烃的演化分馏机制及该机制作用下轻烃的地质行为进行了重点阐述。

① 国家自然科学基金资助项目(49402032)和国家“八五”科技攻关项目成果之一

1 油气藏烃类气-液相溶解平衡作用存在的客观性

气顶型凝析气藏和带油环的凝析气藏在现今塔北诸油田的存在十分普遍;但天然气与油环原油在成熟度、物性方面的显著不匹配,说明天然气是后期进入油藏的干气,凝析气藏是干气逐渐溶解平衡原油轻烃的结果。

1.1 油、气性质不匹配共藏

塔北轮南、桑塔木、解放渠东-吉拉克油田的天然气 $\delta^{13}\text{C}_1$ 分布于 $-33.8\% \sim -38.5\%$, 中心点群分布于约 -35.5% ;根据 Stahl^[9]和戴金星^[10]油型气回归方程,计算所获的天然气成熟度约分布于 $3.20\% \sim 1.64\%$,其中多数大于 2.3% ;同时,绝大多数天然气的 $(\delta^{13}\text{C}_1 - \delta^{13}\text{C}_2) < 4.0\%$, $\delta^{13}\text{C}_2 < -33.0\%$,干燥系数 $(\text{C}_1/\text{C}_1+) > 0.90$;因此,结合区域内石炭系镜质体反射率 R_o 均小于 1.1% 及中上奥陶统 R_o (据沥青反射率换算)均大于 1.3% 的地质背景,认为该地区的天然气以源自海相下古生界的腐泥型高一过成熟热裂解气为主。

塔北上述油田的天然气藏绝大多数是带油环(或油垫)的凝析气藏,且平面上常与正常油藏毗邻产出。但是,与同藏的高一过成熟天然气形成强烈反差的是:油环原油或气顶下面的油藏原油多属中比重原油($0.84\text{g}/\text{cm}^3 \sim 0.87\text{g}/\text{cm}^3$),缺少低比重的轻质油,如解吉油田 LN58(T) ($0.87\text{g}/\text{cm}^3$), JF100(T) ($0.89\text{g}/\text{cm}^3$), 桑塔木油田 LN14(O) ($0.84\text{g}/\text{cm}^3$);这些原油还具有 300C 总馏量较少,属不饱和原油,地饱压差大,凝固点较高等特点。它们据菲、萘参数推算的 R_m 小于 1.1% 。同时,据菲、萘参数推算的凝析油的 R_m 也均小于 1.1% 。表明原油的成熟度远远低于同藏的天然气,它们不是源岩的同期产物。

与之形成对照的是英买 7-9 井区陆相原油的情况:天然气据甲烷碳同位素推算的 R_o 约为 0.96% ,油环原油和凝析油据菲、萘参数推算的 R_m 约为 0.94% ,油环原油属近饱和,比重 $0.82(\text{g}/\text{cm}^3)$;表明成熟度和物性比较匹配的关系。类似的情况还有塔中 1 井等。

1.2 烃类气-液相溶解平衡的客观性

由上述油、气性质不匹配共藏的现象并结合塔北的实际地质背景和烃类生成规律,我们不难获得这样的结论,即下古生界海相高一过成熟天然气(干气)进入早期形成的油藏,随温压条件升高,原油轻烃逐渐被溶解平衡进入天然气,形成现今塔北普遍存在的气顶型凝析气藏及带油环的凝析气藏。

原油中的烃类分子进入天然气的过程实质上是烃类于气-液两相中溶解平衡的物理化学过程,烃类于气液两相中的分配是基于分子量、分子极性、分子结构以及体系温压、组分等因素的差异性分配,因此,从这种意义上讲,早期油藏中的原油轻烃分子据气-液相溶解平衡原理差异性、选择性进入高一过成熟天然气,并最终形成塔北凝析气藏的烃类气-液相溶解平衡作用过程是客观存在的。

对于高一过成熟天然气,体系温压条件一定的条件下,主要以油环(油垫)原油烃类分子选择性、差异性进入气相的过程为主;但另一种可能的情况是成熟度相对较低、富含轻烃类的原生凝析天然气进入早期油藏并与原油进行相互溶解平衡作用,由于两者间烃类组成上必然存在的差异,故这种情况下主要以两种烃类流体间基于气-液平衡原理的烃类分子相互交换为主。该种类型由于凝析天然气与原油成熟度的差别较之前者小而不易确认,但根据盆地中源岩埋深演化和烃类生成规律,这种情况也应该是客观存在的,如塔中、雅克拉等油田。

2 不同油气藏间轻烃差异性再分配的实现

前述的轻烃差异性分配过程空间上仅仅局限于在同一油气藏的气—液两相之间进行,因此地质条件发生变化导致的温、压改变会促使气—液平衡体系多次调整,即多次原地重复烃类的凝析与反凝析;而地质历史时期各具不同轻烃组成特征的气相与液相一旦脱离,分别形成轻烃组成不同的“残油”和次生凝析油气藏,或凝析油气混入早期油藏并改变其原始的轻烃组成特征,就会完成原始油藏中原油轻烃的彻底分馏分异。我们把自外来天然气进入早期已形成油藏,并溶解平衡原油烃类或与原油进行烃类交换,至气液相再次分离并形成凝析油气藏的整个过程称为原油的蒸发分馏作用。原油蒸发分馏作用的结果主要有两种,其一是大量天然气几乎完全将早期油藏中的原油溶解,从而形成带高比重原油油环甚至沥青垫的凝析气藏;其二是溶解携带大量轻烃的凝析气沿断裂、不整合面等运移通道在其它适宜储层形成单相或带轻质油环的凝析气藏,或混入其它油气藏。

塔里木盆地具备原油蒸发分馏作用发生的有利地质地化条件,且塔北诸油田这种机制的作用十分普遍^①,有蒸发分馏型凝析油生成^[11]。因此,现今塔北地区诸多海相油气藏中轻烃的分布特征是在继承了源岩原始生成轻烃组成特征为主的基础上,经原油蒸发分馏作用改造的结果。或者说其轻烃的后期演化分布特征主要受控于当时温压条件下的气—液溶解平衡机制。

3 原油轻烃行为及塔北地区原油轻烃的分布

目前,有关轻烃的研究尤其是应用主要集中于C₅—C₇轻烃,C₅—C₇轻烃中包括了结构、性质具明显差别的链烷烃、环烷烃、芳烃,故本文亦主要讨论这些轻烃在气—液相溶解平衡中的地质行为。

3.1 理论行为

原油的C₅—C₇轻烃包括正构和异构链烷烃类,环戊烷类,环己烷和甲基环己烷,苯和甲苯。在气—液相溶解平衡过程中,据相平衡推导式 $\psi_{y,p} = x_i f_i \omega_i$ 综合分析,可知烃类于气液两相中的差异性分配取决于体系的温压条件和组分以及烃类化合物的分子量、类型、极性、结构等因素,气液两相中某种烃类的绝对浓度取决于体系中该烃类的原始浓度。具体分析C₅—C₇烃类,体系温压条件一定时链烷烃相对较易进入气相而成为凝析馏份的组分,其中异构链烷烃更易进入气相;甲苯、二甲苯为极性化合物,具有引发其它分子产生极性并于液相中生成瞬间高分子络合物的偶极运动,限制其脱离液相进入气相的能力,易富集于原油中,苯虽为非极性化合物,但其中的 π 键可削弱其它分子间力而利于其它分子进入气相;环烷烃的行为介于链烷烃和芳烃之间。气液平衡过程与原油在正常温压条件下的自然蒸发有本质的区别,后者在轻组分未逸尽之前相对较重的组分不发生变化,而前者在一定温压条件下轻、中、重组分同时进入气相,只是进入气相的相对量依 $y_i = \frac{x_i f_i \omega_i}{\psi_p}$ 函数级减少。

3.2 模拟实验中的行为

① 马柯阳等,1992,塔里木盆地海相油气成因的地球化学研究。(85-101-01阶段成果汇报会议,涿州)

由蒸发分馏模拟实验^[12]获得了与轻烃理论行为相似的结果。该实验于接近储层温压的条件下,选用甲烷和原油进行蒸发分馏实验,实验共连续进行十一次,每次可得到一对凝析油和残油,随实验期次升高,除残油和凝析油组分依次变重的趋势外,轻烃分子之间具有以下协变趋势;残油和凝析油随期次升高其中的 1) 正己烷、正庚烷类丰度依次减小; 2) 甲苯、二甲苯丰度依次升高; 这些协变趋势用烷基化值(正庚烷/甲基环己烷)和芳构化值(甲苯/正庚烷)表述即为:随蒸发分馏程度加深,残油和凝析油的烷基化值依次变小,芳构化值依次升高,但相同期次的残油-凝析油对中,芳构化值是前者大于后者,烷基化值是后者大于前者。图 1 选择第一、三、七、十一期实验所获凝析油的组分变化来表述蒸发分馏过程中轻烃的协变趋势;其中原始原油的烷基化值为 0.67,芳构化值为 1.24,而第一期凝析油上述两值分别升高或降低为 0.77 和 0.85,至第十一期凝析油,由于残油上述值的变化程度加深,所获凝析油的相关值亦变为 0.20 和 7,比原始原油的相关值分别减小 3.9 倍和增大 12.7 倍,可推知最终残油与原始原油相比也具有类似的变化程度和趋势。证明该过程中轻烃的变化是基于原始原油轻烃分子间分布特征的变化。

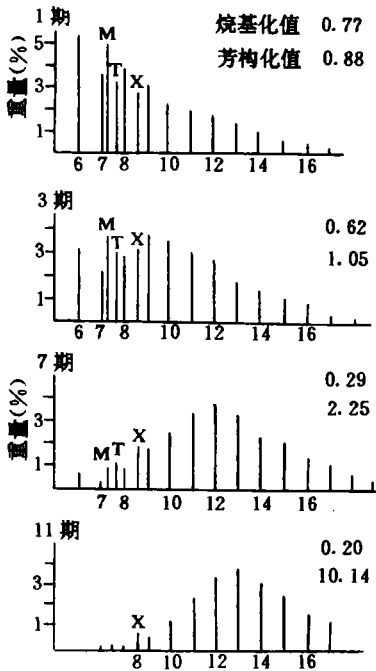


图 1 模拟实验所获凝析产物中不同性质轻烃的变化趋势

(M. 甲基环己烷 T. 甲苯 X. 二甲苯)

Fig. 1 Variation of light hydrocarbons in condensates from experimental evaporative fractionation^[12]

3.3 轻烃的反序分布

总结众多的相关研究我们不难获得如此结论,即:随原油成熟度的升高,原油轻烃中链烷烃和芳烃具有同步增大的协变趋势;例如:Thompson^[5]据轻烃热演化规律提出 C₇ 链烷烃作分子的庚烷值和石蜡指数成熟度判识参数; Sawatzky 等^[13]确认原油中轻质芳烃含量随成熟度升高迅速增大;徐永昌等^[14]则设计了苯和甲苯为分子项的烷-芳指数并认为该指数随原油成熟作用加深而升高;Young^[15]曾基于轻质环烷烃的丰度(C₅-C₇)计算原油的生成年龄,机理是原油中轻质环烷烃相对于链烷烃、芳烃的丰度随生成时间、埋深增温的变化而减小;类似的其它研究亦都确认原油轻烃的这种协变关系。因此,主力烃源岩为寒武、奥陶系海相地层的塔北地区,也应该具有随储层变老轻质链烷烃和芳烃丰度逐渐升高而环烷烃丰度变小的分布趋势。如果考虑到海陆交互相的石炭系和陆相三叠系的可能烃贡献,则轻质链烷烃丰度向下变大的趋势会更明显;陆相有机质来源烃类较富轻质芳烃及甲基环己烷等的特征也会在石炭系及中、新生界海相来源油藏中得到体现。

塔北轮南、桑塔木油田不同产层原油轻

烃的统计分布趋势十分规律(表1),但这种分布的统计趋势并不反映上述的轻烃热演化协变规律,却明显与基于轻烃气—液相溶解平衡的原油蒸发分馏机制作用结果相一致:轮南、桑塔木、解吉油田油气藏由老至新储层,原油轻质链烷轻丰度反而具有普遍升高的统计趋势,轻质芳烃与前者无协变关系而普遍具有降低的统计趋势,环烷烃的分布也有变小的趋势,其中分子量大的C₇环烷烃尤为显著。

表1 轮南、桑塔木油田原油轻烃组成的空间变化趋势

Table 1 Compositional distribution of light hydrocarbons in reservoirs of Tabei oil fields

储层	C ₅ -C ₇ (%) [*]			C ₆₋₇ (%)			C ₆ (%)		
	链烷	环烷	芳烃	链烷	环烷	芳烃	正己烷	环己烷	苯
K-J	84	14.7	1.3				87.4	12.6	0
T	76.9	21.2	1.9	76.6	22.0	1.4	89.7	9.7	0.6
C	75.3	20.5	4.2	73.20	20.7	6.1	81.4	16.2	2.4
O	75.1	16.2	8.7	47.6	36.0	16.4	78.4	18.0	3.6

*表中所列数值为轮南油田和桑塔木油田样品的平均值

塔北诸油田海相原油的蒸发分馏作用具有程度不均一、总体作用方向向上且作用中心呈“阶梯状”阶段性向较新储层转移的特征,这种特征主要与盆地沉积、构造和有机质的演化发展阶段有关。塔北下古生界自海西末期依次进入生油生气阶段,随源岩埋深加大,生成的大量天然气会突破属“薄弱带”的早期原油运移通道进入早期油藏,并以油气藏的形式开始天然气与原油的烃类气液相溶解平衡。同理,这种油气藏随上覆地层的继续沉积,就会产生由于储层空间压实缩小而导致的异常高压,在压力增大的初期,储层空间的减小一定程度上可由气液溶解平衡或气溶胶的形式得以补偿,至一定压力阶段,溶解大量烃类的天然气就会再次突破薄弱带沿断裂继续向上至压力较小区域,或形成凝析气藏或混入早期上方油藏。这种过程中易进入气相的轻质链烷烃被不断带入上方较新储层,轻质芳烃、环烷烃则被富集残留于原始油藏中。作者认为该过程具有以下特点:1)由于有机质与生成烃类尤其是天然气间的体积差,压实作用导致的油气藏储层空间的不断缩小以及温度随埋深升高的物化效果叠加产生的一定空间内的膨胀力是原油蒸发分馏作用发生的动力。2)塔北现今绝大部分油气藏与切至下古生界的“导油断裂”有关,结合主力烃源岩空间位置及三维空间压力向上变小的趋势,则原油蒸发分馏作用的方向以整体向上为主;早期原油运移通道—“导油断裂”因受压实和膨胀力等多重性质不同的作用,故呈现周期性的闭合或张开,这种活动特征有利于蒸发分馏作用的发生。3)随源岩继续埋深进入生气高峰期。储层空间随埋深减小及异常高压区上移的趋势,会促使蒸发分馏作用中心呈“阶梯状”阶段性上移,如由奥陶系储层逐渐至石炭系甚至三叠系储层;同时,由于地质条件不一致,则各井区原油蒸发分馏作用的程度和高度也不一致。

综上所述,轮南地区纵向上与烃类热演化规律相悖的轻烃“反序”分布,是奥陶系、石炭系、三叠系油藏经原油蒸发分馏作用“阶梯状”逐级向上多次作用的结果。

3.4 轻烃热成熟度参数的异常分布

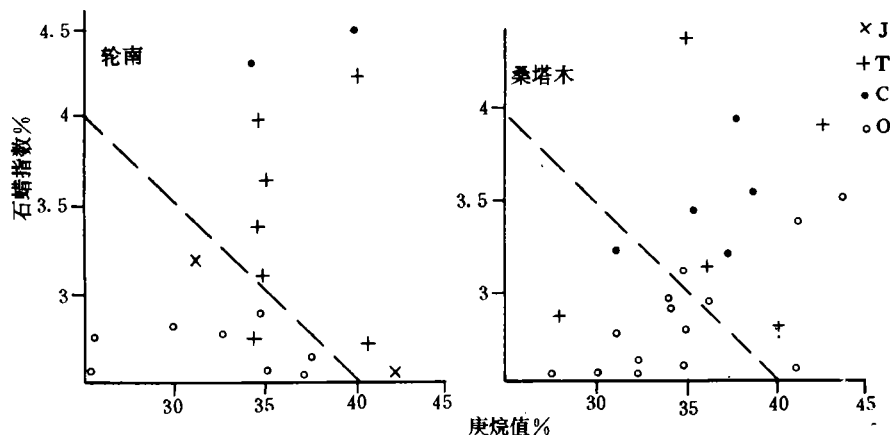


图2 轮南、桑塔木油田奥陶系等原油庚烷值石蜡指数的分布

Fig 2 Heptane and Isoheptane values of oils from Lunnan and Sangtamu oil fields

庚烷值和石蜡指数与烃类所经受热力学作用程度良好的反映关系使之成为目前应用最广泛的成熟度判识参数之一。塔北轮南地区海相原油的这两个值整体上反映了成熟至高成熟的热演化程度;但除个别样品外,奥陶系大多数原油的上述值具有相对变小的趋势;如图2所示,轮南、桑塔木油田的绝大多数奥陶系原油处于相对低值的区域,即便包括个别高值样品,轮南油田奥陶系原油的庚烷值平均为30.6%,异庚烷值平均为2.53,而石炭、三叠系等样品平均值分别可达37.39%和3.67;这种变化趋势在桑塔木以及某些单井中也较明显(图3)。

上述与地质背景不相符和的现象用正常的烃类热演化理论同样是无法解释的。前已述及,下古生界海相地层是塔北诸油气田的主力烃源岩,因此,奥陶系是源岩演化后期高成熟原油、凝析油最有利的成藏层段,再结合奥陶系相对于其上石炭系、三叠系等较大的埋深,则奥陶系原油理应具有

较高的轻烃成熟度参数,对石炭系及其以上油气藏来讲,考虑以下几点,应该具有相对低的原油轻烃成熟度参数:1)轮南地区绝大多数油气藏与沟通下古生界的断裂或不整合面有关,其中可称是“导油构造”的断裂,明显是该区复式油气藏的共同油气运移通道(如LN14井区),因此后期高成熟的原油、凝析油不可能绕过奥陶系油气藏而直接进入其上储层。2)以Ⅱ-Ⅲ型有机质为主的石炭系目前的成熟度不高($R_o < 1.1\%$),Ⅲ型有机质为主的三叠系则更低;加之相同成熟度条件下,腐泥母质来源油的庚烷值、石蜡指数,要高于腐殖母质来源

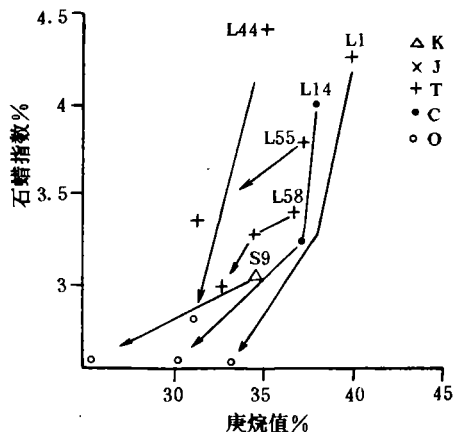


图3 轮南地区某些单井中原油庚烷值、石蜡指数随储层的变化趋势

Fig 3 Variations of Heptane and Isoheptane values of different reservoirs in some single-wells of Lunnan oil field

油^[15];因此,即便是假设它们对本区具有一定的烃贡献,也只能使石炭系、三叠系等油藏的上述值降低。

结合前面所述原油轻烃的空间分异富集规律,并分析庚烷值,石蜡指数^①的参数构成,发现原油蒸发分馏作用是两值非热力学因素改变的真谛所在。作为分子项的正庚烷和甲基己烷易进入气相成为凝析馏份组分,在总体方向向上的蒸发分馏过程中倾向于在较新储层富集,其中甲基己烷的这种倾向性较前者更明显;庚烷值的分母项中除正庚烷和甲基己烷外环烷烃类易富集于液相,奥陶系原油中环烷烃类往往可占 C₇ 轻烃的 40% 以上,加之环己烷也易留于残油中,故分母项烃类分子在较老储层的丰度整体变大;同理,石蜡指数的分母项仅为二甲基环戊烷,使分母项烃类向下逐渐富集的趋势更显著;故分子、分母项的消长叠合效果使得奥陶系原油普遍具有较小的上述值。

这里引出的一个重要问题是,主体烃类源自正常原油的凝析馏份却具有相对较高的庚烷值和石蜡指数,蒸发分馏过程中它们或向上混入其它早期油藏可升高上述值(如 LN14 井),使原油轻、中、重组分反映的成熟度依次降低;或形成具有高庚烷值、石蜡指数的次生凝析气藏,造成高成熟凝析油的假象(如 LN22, Sha18 井);因此,这是一个应该重视的问题。

3.5 海相原油特征向陆相原油特征的转化趋势

原油蒸发分馏过程中,由于烃类基于溶解平衡原理差异性的气液相分配,使极性和分子量较大的烃类选择性富集于残油中,非极性和分子量较小者易进入气相成为凝析馏份的组分,气、液两相分离导致的凝析气藏或凝析油的 Pr/Ph 值、二环萘/三环萘值、三环萘/五环萘值(小分子/大分子型参数)相对于原始原油变大,甚至全油碳同位素值变重,使该类型次生产物的一些常用参数具有陆相特征;残油相对富集芳烃、环己烷类、蜡等,使某些相关参数(极性/非极性型参数)也具有陆相原油的特征,这种变化趋势往往诱致陆相或海陆交互相烃类混入的结论。另一方面,某些参数变的更具海相特征,如残油的 Pr/Ph 值,碳同位素值等。具体到塔北地区的原油轻烃分布,原油、凝析油的烷基化值、芳构化值的分布特征与 3.1、3.2 所述趋势类似,海相凝析油具有低的芳构化值,高的烷基化值,原油则相反^[11]。同时,研究还表明塔北地区绝大部分海相高蜡原油具有较大的芳构化值^②。因此,与其说某些轻烃异常(如 TZ10 相对区域内高的轻质芳烃含量)是陆源烃类混入的结果所致,还不如说塔北普遍发生的气-液溶解平衡对烃类的差异性分配是上述孤立异常参数的原因。

4 结 语

1) 根据塔北轮南地区油气性质不匹配共藏和原油蒸发分馏作用普遍的实事,本文提出并确认,该区域原油轻烃于油气演化成藏过程中的行为主要受控于烃类气-液相溶解平衡的物化原理的观点,现今油气藏中原油轻烃的分布特征是在继承了原生组成特征基础上经气-液两相差异性分配并分馏、分异的结果;由下至上的“阶梯状”逐级原油蒸发分馏作用过程最终导致了与烃类热演化规律相悖的纵向上轻烃“反序”分布的趋势。

① 庚烷值 $\frac{\text{正庚烷}}{\text{环己烷至甲基环己烷间馏出物}}$

石蜡指数 = $(2 - \text{甲基己烷} + 3 - \text{甲基庚烷}) / (1, \text{顺} 3 + 1, \text{反} 3 + 1, \text{反} 2) - \text{二甲基环戊烷}$

② 马柯阳等, 1995, 第十章 油气演化的蒸发分馏机制。塔里木盆地油气形成的地质地球化学条件。85-101-01-10 专题报告

2) 了解原油轻烃于油气演化成藏过程中的行为机制和规律, 就为轻烃的正确应用和解释一些矛盾的轻烃参数奠定了理论基础, 譬如某些海相原油中轻质芳烃相对高的丰度, 奥陶系正常原油相对较低的庚烷值和石蜡指数等。显然, 原油轻烃指数对比应选用分子量相近, 碳数一致, 结构、化学性质相类似的分子组成参数对; Mongo^[6]提出的可用以原油成因分类的 $K^{\text{①}}$ 值便是一个不受原油蒸发分馏作用影响的参数值。

3) 本文主要讨论的是气-液相溶解平衡中轻烃的行为和蒸发分馏全过程中轻烃的差异性油气藏再分配。但实际上该机制作用的分子范围远远不至于轻烃, 原油蒸发分馏作用过程中凝析油的形成或原始油藏中轻烃的逸失导致的也不仅仅是烃类的差异性分配, 由此产生的原始油藏含蜡量升高、密度等物性的相对改变以及生标参数的“陆相化”或“海相化”趋势; 天然气、原油轻、中、重组分成熟度依次降低的趋势等均表明, 原油蒸发分馏作用过程是原油-天然气相互作用的重要的一种形式, 值得进一步深入系统研究。

4) 本研究结果对于酪根热演化后期油气运移及其相态的研究确认是有益的; 同时还可能暗示了一种在塔里木盆地和我国东部盆地重要的油气运移及成藏机制; 天然气-原油-有机质相互作用的油气生成、运移、成藏机制。

收稿日期: 1994 年 12 月 2 日

参 考 文 献

- [1] Hunt J. M. et al., 1970, Generation of light hydrocarbons in sedimentary basin. *Nature*, 288: 688-690.
- [2] Hunt J. M. et al., 1984, Generation and migration of light hydrocarbons. *Science*, 12: 1265-1270.
- [3] Leythauerser D. et al., 1979, Generation and migration of light hydrocarbons (C_2-C_7) in sealimentary basins. *Organic Geochemistry*, 1: 191-204.
- [4] Philippi G. T., The deep subsurface temperature controlled origin of the gaseous and gasoline-range hydrocarbons of retroleum. *Geochim. Cosmochim. Acata*, 39: 1353-1373.
- [5] Thompson K. F. M., 1983, Classification and thermal history of petroleum based on light hydrocarbons. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47, 303-316.
- [6] Mongo F. D., 1990, The origin of light hydrocarbons in petroleum; A kinetic test of the steady-state catalytic hypothesis. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 54: 1315-1323.
- [7] 程克明等, 1987, 陆相原油及凝析油的轻烃单体组成特征及地质意义, 石油勘探与开发, 16(1): 14-22.
- [8] Philippi G. T. et al., 1981, Correlation of crude oils with their oil Source Formation. use High Resolution GLC C_6-C_7 Component Analyses. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 45(9).
- [9] Stahl W. J. et al. 1975, Source-rock identification by isotope analyses of natural gases, west Texas. *Chem. Geol.*, (16): 257-267.
- [10] 戴金星, 1992, 各类烷烃气的鉴别, 中国科学(B)辑, (2): 183-193.
- [11] 马柯阳、范璞, 1995, 塔北沙 18 井石炭系蒸发分馏成因凝析油确认的地球化学证据. 科学通报, 40(19): 1785-1787.
- [12] Thompson K. F. M., 1987, Fractionated aromatic petroleums and the generation of gas condensates, *Org. Geochem.*

① $K = \frac{(2\text{-甲基己烷}) + (2,3\text{-二甲基戊烷})}{(3\text{-甲基己烷}) + (2,4\text{-二甲基戊烷}}$

11(6), 573—590.

- [13] Sawatzky H. et al., 1977, Maturation studies of canadian east coast oils, CANMET Rep. 15.
- [14] 徐永昌等, 凝析油的地球化学特征, 中国科学(B辑), 1988, 6, 643—650.
- [15] Yong A. et al., 1977, Calculation of ages of hydrocarbons in oils—physical chemistry applied to petroleum geochemistry, A. A. P. G., 45(4): 573—600.
- [16] Snowden L. R. et al., 1982, Immature oil and condensate modification of hydrocarbons generation model for terrestrial organic matter, AAPG Bull., 66:6.

Geological Significance and Behavior of Petroleum Light Hydrocarbons under Vapour-Liquid Equilibrium Mechanism in Tarim Basin

¹ Ma Keyang ² Zhou Yonghong ¹ Sheng Jianzhong

¹ (Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

² (Professional University of Shenli Oil Field, Dongying 257004)

Abstract

There are a lot of gas-condensate reservoirs bearing gas-caps or oil-rings found in the north of Tarim Basin. The calculated R_o data demonstrate that the natural gases possess much higher maturity ($R_o > 2.3\%$) than that of the associated oils and condensates ($R_o < 1.1\%$), taking unfavourable physical properties of the ring-oil into consideration, we concluded that the natural gas is an allochthonous one and the condensate is the product of vapor-liquid equilibrium between the allochthonous natural gas and the oils in reservoir, in this physical-chemistry process, all light hydrocarbons, having distributed themselves according to their vapor-liquid equilibrium constants, would occur in different proportions in the vapor and liquid phases. On the basis of the above conclusion, we suggest that the separation of gas-cap from oil-ring once occurred in the past geological time, there would be independent gas Condensate accumulation formed in Tarim Basin, and meanwhile the light hydrocarbons of the primary reservoir fractionated, which caused the unusual distribution of light hydrocarbons in Ordovician to Cretaceous reservoirs.

Key Words: Vapor-liquid equilibrium Physical-chemistry Petroleum light hydrocarbon
Fractionation