

文章编号: 1000-0550(2000)01-0139-07

酒西盆地石油非均质性的控制因素

熊 英¹ 程克明¹ 杨志明²

1(北京石油勘探开发科学研究院 北京 200083) 2(玉门石油管理局 甘肃玉门 735200)

摘 要 运用先进的分析测试手段对来自酒西盆地六个油田的 20 多个油样进行了全油碳同位素、饱和烃气相色谱与质量色谱及正构烷烃分子碳同位素等较为全面的分析与研究。确定源岩相、水洗、生物降解作用与成熟度不是酒西盆地石油非均质性的控制因素。最后选取 15 个油样进行中性吡咯氮化合物分析,用中性吡咯氮中的咪唑类化合物作为运移参数,较为详细地研究原油的运移分馏作用。此类化合物作为运移参数的基本原理是石油运移过程中,不同结构的咪唑类化合物与水及岩石中矿物发生吸附作用的强烈程度不同,导致不同的运移分馏作用。根据咪唑类化合物的变化得出控制酒西盆地石油组成非均质性的主要因素是油气运移分馏作用,证实酒西盆地石油运移方向主要是从西至东,青西凹陷是其油源区。

关键词 石油组成非均质性 中性吡咯氮化合物 石油运移

第一作者简介 熊英 女 1973 年出生 博士研究生 石油地球化学

中图分类号 P593 **文献标识码** A

从唯物主义的观点来看,油田或油藏内石油组成的非均质性是绝对的,均质性则是相对的。England 等^[1]、Larter 等^[2]、Horstad 等^[3]及 Leythaeuser 和 Ruckheim^[4]对油藏内石油成的非均质性作了大量工作。England^[5]提出,油藏内部生物标志物等石油成分参数的变化,可以解释为由于油藏充注期间所保留的石油继承了油源岩相和成熟度的变化。因此,石油组成的变化受多种因素的控制,除生物降解和水洗作用外,其根本控制因素应是油源岩相及其成熟度,另外,石油运移过程中,岩石与流体间的相互反应、分隔层的存在、输导层的性质等与石油运移有关的作用都在不同程度上对油藏中石油组成的非均质性起控制作用。

了解造成石油非均质性的控制因素,不仅具有学术价值,而且能确定油藏油源岩的位置、类型和成熟度。并且由于确定出油田注入点的位置,便有可能更准确地估量石油的导运系统,从而进一步确定勘探潜力。本文较为系统地研究酒西盆地石油组成的非均质性及其控制因素,在一定程度上定了本区石油运移方向与途径。

1 酒西盆地石油地质背景

酒西盆地为祁连山北缘的前陆盆地。南以祁连

山麓为界,北至赤金峡—宽台山—榆树沟山,西起小红柳峡,东抵嘉峪关—文殊山,面积约 2 700 km²。酒西盆地划分为四个构造单元:南部隆起、中央坳陷、北部斜坡与西部坳陷。该盆地到目前为止,已发现老君庙、石油沟、鸭儿峡、白杨河、单北和柳沟庄六个油田,含油层系为志留系、石炭—二叠系、白垩系、第三系火烧沟组(E_h)及白杨河组(K、L、M 层)等。生油层为下白垩统(赤金堡、下沟及中沟组)的湖相暗色泥岩。油气运移聚集期主要为上新世末期。

2 样品的采集与分析

样品包括来自老君庙、石油沟、鸭儿峡、白杨河、单北和柳沟庄六个油田不同层位的 20 多个油样。石油样品作的分析测试为轻烃单体气相色谱、全油稳定碳同位素、正构烷烃分子稳定碳同位素、饱和烃气相色谱、饱和烃质量色谱与中性氮化合物等项。各项分析测试的方法与实验条件在大量文献中作了详细的介绍,在此不再重复。

在我国,运用饱和烃质量色谱与气相色谱来研究烃类物质的化学性质已发得很成熟,所选用的参数见下表。轻烃单体气相色谱、正构烷烃分子稳定碳同位素和中性含氮化合物分析是近年发展起来的较为先进的技术,有关参数下文将作介绍。

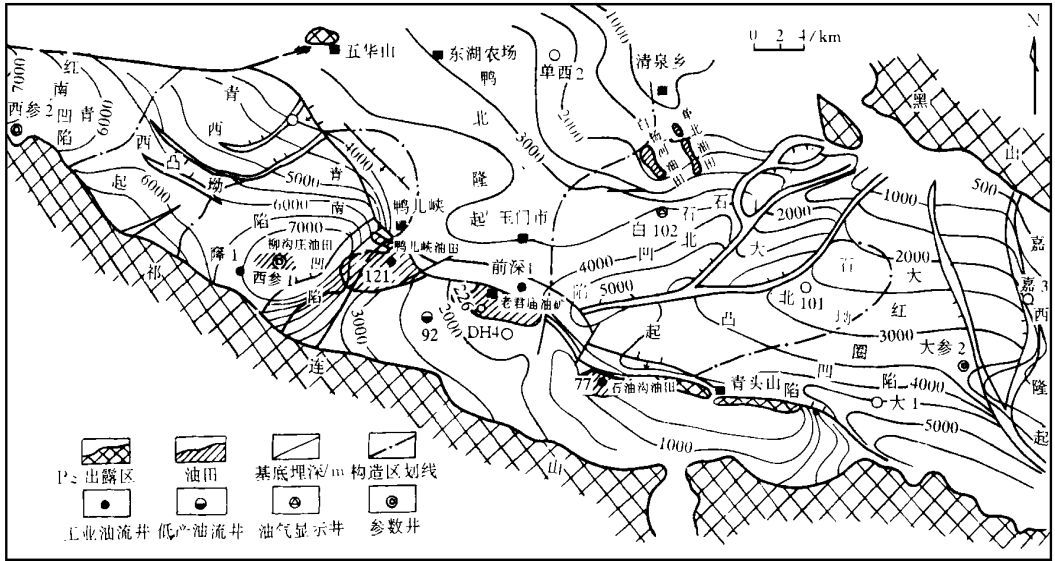


图1 酒西盆地勘探成果图

Fig.1 Exploration achievements in Jiuxi basin

表1 本研究原油样品的地球化学参数

Table 1 Geochemistry parameters about studied crude oils

样品号	柳1	窿1	Y540	Y8611	Y49	Y566	D235	C144	石6911	白探4	白118	单北716
深度/m	4400	4500	3700	2300	2390	2745	610	890	100	900	900	
油田	柳沟庄			鸭儿峡			老君庙		石油沟	白杨河		单北
层位	K _{1g}	K _{1g}	K _{1x}	N _{1b-L}	N _{1b-L}	S	N _{1b-L} M		Eh ₂₊₃	Eh	Eh	
主碳峰	C ₂₁	C ₂₁	C ₂₁	C ₂₁	C ₂₁	C ₂₃	C ₂₁	C ₂₁	C ₂₁	C ₂₁	C ₂₁	C ₁₉
C ₂₁ /C ₂₂₊	1.68	2.4	1.95	1.7	2	1.18	1.71	1.52	2.97	1.57	1.7	1.62
Pr/Ph	0.96	1.1	1	0.89	0.9	0.75	0.94	0.99	0.7	0.94	1	0.96
Pr/nC ₁₇	0.62	0.4	0.41	0.51	0.5	0.57	0.48	0.48	0.37	0.46	0.49	0.43
Pr/nC ₁₈	0.68	0.3	0.45	0.61	0.6	0.84	0.54	0.51	0.54	0.51	0.51	0.46
CPI	1.21	1.2	1.17	1.17	1.1	1.28	1.22	1.25	1.27	1.24	1.23	1.51
OEP	1.09	1.1	1.06	1.06	1.1	1.16	1.06	1.08	1.07	1.06	1.06	1.14
Ts/Tm	0.18	0.53	0.37	0.22	0.22	0.20	0.29	0.38	0.37	0.38	0.40	0.41
降新藿烷/C ₃₀ 藿烷	0.03	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05
重排藿烷/C ₃₀ 藿烷	0.03	0.05	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.05
伽马蜡烷/C ₃₀ 藿烷	0.28	0.28	0.28	0.25	0.25	0.22	0.27	0.27	0.26	0.27	0.26	0.27
三环萜/五环萜烷	0.16	0.20	0.20	0.16	0.17	0.15	0.18	0.20	0.20	0.19	0.19	0.05
重排甾/规则甾烷	0.08	0.14	0.12	0.09	0.09	0.07	0.09	0.11	0.11	0.09	0.10	0.10
甾烷 C ₂₇ %	0.23	0.22	0.22	0.24	0.24	0.23	0.25	0.24	0.25	0.24	0.24	0.23
甾烷 C ₂₈ %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.25	0.24	0.25
甾烷 C ₂₉ %	0.51	0.53	0.52	0.50	0.50	0.53	0.50	0.51	0.51	0.51	0.52	0.52
C ₂₉ 甾烷 S/ S+R	0.42	0.46	0.45	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.43
C ₂₉ 甾烷 β/ β+α	0.33	0.47	0.40	0.35	0.36	0.34	0.35	0.33	0.34	0.33	0.34	0.33

3 主要控制因素

3.1 源岩相

12 个油样的全油碳同位素 $\delta^{13}C$ 值几乎一致, 除 Y540 为 -30.5% 外, 其余样品最大值为 -31.1% , 最小值为 -30.8% , 在误差范围内, 可认为油样的全油碳同位素是一样的。

饱和烃气相色谱与质量色谱所反映的有关参数也大致相似(表 1), 为了客观全面地表现样品之间的相关关系, 将表 1 所列的地化参数作为样品的指标, 即变量有 17 项 ($n=17$), 计算了 12 个样品之间相关系数^[6]。相关系数是样品之间线性相关程度的一个量度, 第 i 个样品与第 j 个样品相关数为:

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n (Xk_i - \bar{X}_i)(Xk_j - \bar{X}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (Xk_i - \bar{X}_i)^2} \sqrt{\sum_{k=1}^n (Xk_j - \bar{X}_j)^2}}$$

从表 2 可以看出, 各样品之间的相关系数均大于 0.86, 石 6911 与其他样品之间的相关系数相比较小外, 其他样品之间的相关系数均在 0.96 以上。所以从常规地球化学参数的角度来看, 这些样品非常相似, 可以认为它们来自同一油源。

另外, 从正构烷烃分子碳同位素分布曲线(图 2)上可以看出: 所有样品的曲线形态十分相似, 除个别样品的个别碳位有些异常外, 其它的均具有以下

特点: C_{18} 碳同位素值最高; C_{19} 、 C_{29} 与 C_{32} 的值较其它碳位要低; 剩下碳位上的值相差不大, 在 $-30\% \sim -33\%$ 的范围内。所以从原油的正构烷烃分子碳同位素的分布来看, 这些原油也是同源的。

3.2 水洗作用与生物降解作用

自 1987 年 Mango^[7] 提出石油中轻烃(异构链烷烃、环己烷类和环戊烷类)的成因机制主要是稳定催化作用而不是热降解后, 地球化学家 Henry Halpem^[8]; Haven H. L.^[9]; 王培荣等^[10]; 朱丹等^[11] 对 C_7 轻烃组分中的甲基己烷类与二甲基戊烷类+3-乙基戊烷; 1,1+1,3 二甲基环戊烷类之间的关系进行了研究。

轻烃单体中, C_7 异构体化合物有 17 个组分能被用作参数比值进行挑选, 本文采用 C_7 轻烃组分中的两组参数作星状图来描述同源石油之间的细微化学差异。第一组参数为 T_1-T_8 (表 3), 所选用的化合物对水洗和生物降解等地质变异作用有明显响应, 因此用 T_1-T_8 八个参数作的星状图能突出同源油由于地质变异而表现的差异。另一组为 C_7 组分中的四个比值参数 C_1-C_4 (表 3)所选用的化合物对各种变化有较大抵抗力, 作的星状图可用来对比相关油源但已遭受变化的原油与原生原油之间的化学差异。

根据相关系数选六个有代表性的样品, 并计算 T_1-T_8 参数作原油变化星状图, C_1-C_4 作原油相关图(图 3)。从这两图上, 可以看出所选样品的两

表 2 油样之间的相关系数

Table 2 Correlation coefficients among oil samples

相关系数	Y540	Y8611	Y49	Y566	柳 1	窿 1	白探 4	单北 716	白 118	石 6911	D235	C144
Y540	1.000											
Y8611	0.996	1.000										
Y49	0.997	0.997	1.000									
Y566	0.963	0.981	0.964	1.000								
柳 1	0.992	0.998	0.996	0.980	1.000							
窿 1	0.993	0.981	0.985	0.934	0.971	1.000						
白探 4	0.996	0.997	0.994	0.979	0.996	0.981	1.000					
单北 716	0.990	0.991	0.989	0.974	0.993	0.969	0.996	1.000				
白 118	0.988	0.988	0.992	0.961	0.993	0.967	0.991	0.995	1.000			
石 6911	0.907	0.906	0.937	0.865	0.925	0.871	0.910	0.930	0.956	1.000		
D235	0.997	0.999	0.994	0.979	0.994	0.986	0.998	0.990	0.983	0.889	1.000	
C144	0.994	0.996	0.992	0.978	0.996	0.975	0.999	0.998	0.995	0.921	0.995	1.000

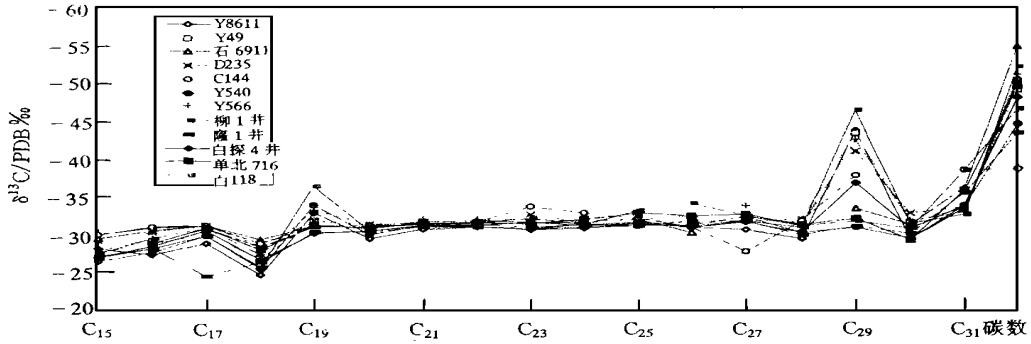


图2 酒西盆地原油正构烷烃分子碳同位素分布

Fig. 2 Distribution of carbon isotope composition of normal alkanes from Jiuxi Basin

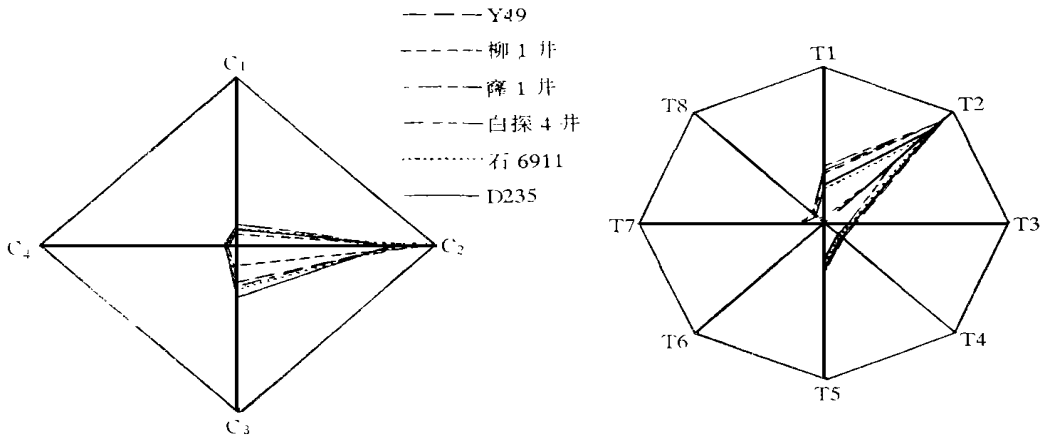


图3 C₇ 原油相关与变化星状图

Fig. 3 C₇ oil correlation and transformation star diagrams

表3 轻烃单体 C₇ 参数名称

Table 3 C₇ light hydrocarbon parameter's definition

参数名	参数内容	沸点, °C	备注
T ₁	甲苯/T	110.6/87.8	T ₁
T ₂	正庚烷/T	98.4	2,2-二甲基
T ₃	3-甲基己烷/T	91.8	戊烷
T ₄	2-甲基己烷/T	90	
T ₅	P ₂ /T	91	P ₂ :
T ₆	1-反-2-二甲基环戊烷/T	99.5	2-二甲基己烷
T ₇	1-顺-3-二甲基环戊烷/T	90.8	+3-甲基己烷
T ₈	P ₂ /P ₃	91/85	
C ₁	2,2-二甲基戊烷/P ₃	79.2/85	P ₃ :
C ₂	2,3-二甲基戊烷/P ₃	89.8	
C ₃	2,4-二甲基戊烷/P ₃	80.5	所有二甲基戊
C ₄	3,3-二甲基戊烷/P ₃	86.1	烷

+20R)来表征原油成熟度,且随成熟度增高而变大。隆1井原油的C₂₉20S(20S+20R)值稍大,为0.47,柳1井原油为0.42较小外,其它油样的值均为0.44(见表1)。隆1井与柳1井原油为青西凹陷内生自储的原油,成熟度较其他原油有一定差别,但在一定范围内还是可以认为它们与其他原油的成熟度是相近的。

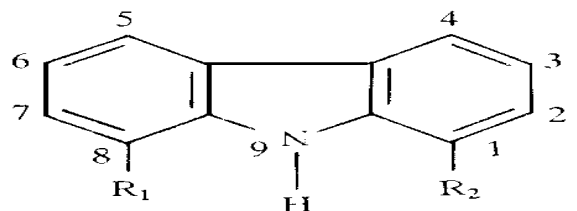


图4 咔唑类化合物结构示意图

Fig. 4 Structure of carbzoles

组参数都没有明显差别,这从正反两个方面充分说明原油样品没有受到水洗和生物降解等地层变异作用。

3.3 成熟度

一般用C₂₉甾烷立体异构化参数C₂₉20S/(20S

3.4 运移分馏作用

石油运移是一复杂的动态过程, 常规的运移参数往往受环境、岩相与成熟度等其它因素的影响, 运用效果不是很好。用中性氮馏分中的吡咯类氮来预测石油运移的方向与路径是近年发展起来的一种新方法 (Li 和 Larter^[12]; Stoddart 等^[14]; Larter 和 Aplin^[15])。前人研究表明: 有机生源输入、沉积环境和热成熟作用对吡咯类氮的分布不具决定作用, 初次与二次运移才是成藏石油中吡咯类氮分布的制约因素。吡咯类氮馏分均由咔唑、苯并咔唑、二苯并咔唑及其烷基衍生物组成。此类化合物作为运移参数的基本原理是在石油运移过程中, 不同结构(图 4)的吡咯类氮化合物与水及岩石中的矿物发生吸附作用的强烈程度不同, 导致不同的运移分馏作用。本文仅从以下两个方面进行讨论: 1、二甲基咔唑类化合物之间的差异。根据 1 和 8 和碳位上取代基的

存在与否, 9 碳位无取代基, 把二甲基咔唑分为三类: 氮暴露异构体(如 3, 4-二甲基咔唑)、氮遮蔽异构体(如 1, 8-二甲基咔唑)和半遮蔽异构体(如 1, 3-二甲基咔唑), 氮暴露异构体在矿物表面和固相有机质上的吸附性比氮遮蔽异构体的吸附要强, 半遮蔽异构体的吸附性则位于两者之间, 2、咔唑类同系物之间的差异。咔唑类化合物的相对迁移性随分子量减少而下降。

此项研究作了 15 个油样, 样品所在区域及层位列于表 4。依据上述原理, 选取四个参数(见表 4), 对于此类参数, 各样品表现出了明显的非均质性, 这说明运移作用是控制本区石油非均质的因素。为了进一步弄清运移方向与途径, 本文较为详细地讨论各参数的变化。

根据上述咔唑类化合物随运移距离而变化的原理, 可知 1, 8-DMCA/3, 4-DMCA 与 1, 8-DMCA/1,

表 4 酒西盆地原油咔唑类化合物参数

Table 4 Parameters of carbazole compounds from crude oil in Jiuxi basin

井号	油田	层位	1, 8-DMCA/3, 4-DMCA	1, 8-DMCA/1, 3-DMCA	CA/MCA	MCA/DMCA	备注
柳 3 井	柳沟庄	Klg	5.71	0.86	0.58	0.42	
Y300		N ₁ b-L	13.12	1.04	0.26	0.36	
NY9	鸭	N ₁ b-L	14.68	1.19	0.50	0.47	
Y8611	儿	N ₁ b-L	8.49	0.93	0.34	0.38	CA:
Y49	峡	N ₁ b-L	10.21	0.98	0.34	0.39	咔唑
Y703		S	7.15	0.70	0.34	0.39	
C125	老	N ₁ b-L	9.96	0.97	0.35	0.40	MCA:
C144	君	N ₁ b-L	14.61	1.21	0.32	0.38	甲基
D235	庙	N ₁ b-L	11.32	1.18	0.33	0.37	咔唑
石 50	石油	N ₁ b-L	12.97	1.14	0.32	0.38	DMCA:
石 6911	沟	N ₁ b-M	11.91	1.18	0.32	0.36	二甲基
单 716	单	Eh	11.18	1.21	0.28	0.28	咔唑
单北 203	北	Eh	12.13	1.20	0.18	0.30	
白 118	白杨	Eh	13.83	1.11	0.23	0.33	
白探 4	河	Eh	12.24	1.05	0.19	0.29	

3-DMCA 随运移距离的增大而增大; CA/MCA 和 MCA/DMCA 随运移距离的增加而变小。图 5 中, A 是 1, 8-DMCA/3, 4-DMCA 与 1, 8-DMCA/1, 3-DMCA 的相关图, 这两者均随运移距离的增大而增大, 运移方向如图中箭头所示。沿着箭头指向, 柳 3 井是运移起点, 接着的鸭儿峡, 然后是老君庙与石油

沟, 虽然各油田的不同样品之间存在一定程度的重叠, 但大致还是能反映出运移方向从西至东的; B 和 C 分别是 CA/DMCA 与 1, 8-DMCA/3, 4-DMCA, MCA/DMCA 与 1, 8-DMCA/1, 3-DMCA 的相关图, 这两个图所反映的运移方向与 A 基本一致, 也是从柳沟庄-鸭儿峡-老君庙-石油沟; D 是 CA/MCA 和

MCA/DMCA 的相关图, 图中除柳3井外, 其他样品的值相差不大, 叠置在一起。从这四幅图上可得到两方面的结论: 一方面, 柳3井是石油运移的起点, 柳沟庄是青西凹陷中的低凸起, 从而说明青西凹陷是油源岩的所在地, 运移方向是柳沟庄-鸭儿峡-老君庙-石油沟, 从西向东的; 另一方面, 四个比值中, 1, 8-DMCA/3, 4-DMCA 作为运移参数最好, 1, 8-DMCA/1, 3-DMCA 次之, CA/MCA 与 MCA/DMCA 最差。如 A 中, 各样品均分隔开, B 与 C 中大部分样品分隔开, 但个别出现重叠, D 中则在大部分样品重叠在一块。

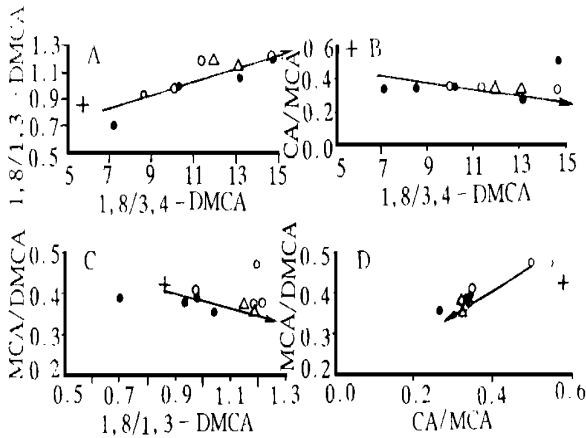


图5 咔唑类化合物各参数相关图

+ 柳沟庄; ◇ 鸭儿峡; ○ 老君庙; △ 石油沟

Fig. 5 Correlation map between parameters of carbazole compounds

对于单北与白杨河油田, 各参数的变化较为复杂。从 1, 8-DMCA/3, 4-DMCA 与 CA/MCA 得出运移方向为单北—白杨河, 从 1, 8-DMCA/1, 3-DMCA 与 MCA/DMCA 则得出方向为白杨河—单北。对于此问题, 就是具体考虑咔唑类化合物的性质, 咔唑类化合物的运移分馏作用在砂岩体为运移通道时表现明显, 而在断层作为运移通道时不明显, 泥质砂岩与钙质砂岩对于咔唑类化合物的运移分馏作用也有区别。因此, 为了较为合理地解释本区石油运移情况, 除了选择合适的运移参数外, 还必须了解本区砂岩体的展布, 砂岩的性质, 断层的发育及其与砂岩体的配置等有关地质背景知识。

4 结论

通过从源岩相、成熟度、水洗生物降解及运移分馏作用这四个方面对酒西盆地 20 个原油样品的分

析, 可以得出本区原油非均质性的控制因素不是源岩相、成熟度和地层变异作用, 而是运移分馏作用。运移分馏作用对原油非均质性的控制在于运移距离的远近和导运体系的是否均一性。根据运移参数咔唑类化合物的变化得出青西凹陷是本区的生油凹陷; 运移方向可能有两个, 主要是从西向东, 在南北方向上, 还需要进一步研究。在各方向上又有局部的变换, 具体运移情况要结合本区砂岩体与断层的分布及其连通等储集体情况进行研究。

参考文献

- England W A, *et al.* The movement and entrapment of petroleum fluids in the subsurface[J]. *Journal of the Geological Society, London*, 1987, 144, 327~347
- Larter S R, Bjorlykke K O, Karlsen D A. *et al.* Determination of petroleum accumulation histories; examples from the Ula Field, Central Graben, Norwegian North Sea[A]. In: *North Sea Oil & Gas Reservoirs—II* Graham & Trotman, London, 1991, 319~330
- Horstad L, Larter S R, Dypvik H, *et al.* Degradation and maturity controls on oil field petroleum heterogeneity in the Gullfaks Field, Norwegian North Sea[J]. *Organic Geochemistry* 1990, 19: 107~117
- Leythaeuser D, Ruckheim J. Heterogeneity of oil composition within a reservoir as a reflectance of accumulation history[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 1989, 53: 2 119~2 123
- England W A, Mackenzie A S. Some aspects of the organic geochemistry of petroleum fluids[J]. *Geologische Rundschau*, 1989, 78, 291~303
- 陆明海, 田时芸编著. 石油天然气数学地质[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991. 12~
- Mango F D. An invariance in the isopentanes of petroleum[J]. *Science* 1987, 237: 514~517
- Henty I. Halpern Development and applications of light-hydrocarbon-based star diagrams[J]. *AAPG Bulletin* 1995, 79: 801~815
- Haven H L. Application and limitations of Mango's light hydrocarbon parameters in petroleum correlation studies[J]. *Organic Geochemistry*, 1996, (24, 10/11): 957~976
- 王培荣. 原油中轻烃成因的探讨—塔里木盆地原油轻烃的组成特征[A]. 见: 江汉石油学院分析测试研究中心编. 有机地球化学研究进展. 重庆: 重庆出版社 1996
- 朱丹, 林壬子. 轻烃资料在油气勘探及油藏地球化学中的应用. 见: 林壬子主编. 油气勘探与油藏地球化学. 北京: 石油工业出版社, 1998
- Li M, Larter S R. Interactions of organic nitrogen species with mineral water and organic networks; Implications to petroleum geochemistry[R]. 205th American Chemical Society Meeting, Division of Geochemistry, American Chemical Society, Abstract Paper 1993, 89
- Li M, Larter S R, Stoddart D, Bjoroy M. Fractionation of pyrolic ni-

- trogen compounds in petroleum during migration; derivation of migration related geochemical parameters[A]. In the Geochemistry of Reservoirs, Geological Society of London, Special publication No. 86, 1995
- 14 Stoddart D P, Hall P B, Larter S R. *et al* The reservoir geochemistry of the Eldfisk Field, Norwegian North Sea[A]. In the Geochemistry of Reservoirs, Geological Society of London, Special publication No. 86, 1995
- 15 Larter S R, Aplin A C. Reservoir geochemistry methods, application and opportunities[A]. In the Geochemistry of Reservoirs, Geological Society of London, Special publication No. 86, 1995.

Controls on Compositional Heterogeneity of Oils in Jiuxi Basin

XIONG Ying CHENG Ke-ming YANG Zhi-ming

1 (Research Institute of Petroleum Exploration and Development CNPC Beijing 100083)

2 (Bureau of Yumen Oil field Yumen Gansu 735200)

Abstract

The physical and chemical nature of petroleum changes with source rock and maturity, although the feature of oil and gas can also be influenced by local biodegradation or water washing. During the process of reservoir filling, some polar compound in crude oils, such as carbazoles which can interact relatively strongly with water, rock minerals and each other, and thus induce heterogeneous petroleum. Meanwhile, heterogeneous migration pathways also influence the characteristics of oils.

In the paper, authors discuss in detail the chemical nature of oil samples, which come from six oil fields in Jiuxi Basin. Among twelve oil samples, except one sample's carbon isotope ($\delta^{13}\text{C}_{\text{oil}}\text{‰}$) of the whole liquid hydrocarbon (crude oil) is -30.5‰ , the other's is about -31‰ , whose absolute error is less than 0.2‰ . Distillation mode of carbon isotope of N-alkane element series is also similar to each other. Based on GC and GC-MS analysis, seventeen conventional geochemical parameters are selected to calculate correlation coefficients between twelve oil samples, correlation coefficients of all samples are more than 0.86, most of them is up to 0.96. All of these parameters show that twelve oil samples come from the same source rock.

Two star diagrams (multivariable plots in polar coordinates) have been developed to assess subtle chemical differences among oils. The diagrams are based on analysis of C_7 hydrocarbon of crude oils separated by gas chromatography. The first C_7 diagrams is used for distinguishing variation in oils caused by transformation, e. g. water washing, biodegradation and evaporation. The second C_7 -based diagram consists of four ratios composed of compounds that are very resistant to the effects of transformation. Two star diagrams of six oils representing different oil fields show water washing, biodegradation and other transformations are not the main factors to control heterogeneous petroleum. Either is maturity, based on the molecular isomerization parameters of C_{29} sterane $20\text{S}/(20\text{S}+20\text{R})$ as maturity parameter.

At the end of the paper, pyrrolic nitrogen compound distributions of crude oil are studied. Pyrrolic nitrogen compounds in oil have been shown to be very useful geotracers in predicting the direction and even the distance of oil secondary migration in the reservoirs. Alkylcarbazole series in the neutral pyrrolic nitrogen are just discussed. 1, 8-dimethylcarbazole/3, 4-dimethylcarbazole, 1, 8-dimethylcarbazole/1, 3-dimethylcarbazole, carbazole/methylcarbazole and methylcarbazole/dimethylcarbazole are used as migration parameters. These parameters of different crude oils with similar other parameters have some changes. It is concluded that migration fractionation is the main factor to control heterogeneity of petroleum in Jiuxi Basin. At the same time, migration parameters verify that oils come from Qingxi sag and the direction of migration is from west to east.

Key words heterogeneity of petroleum neutral pyrrolic compounds petroleum migration