

文章编号: 1000-0550(2009) 04-0769-08

柴达木盆地南翼山油田的油气充注成藏途径^①

何国源¹ 关平¹ 谭彦虎² 李元奎² 张文涛¹ 杜彬彬¹ 于红娇¹

(1. 北京大学地球与空间科学学院 北京 100871; 2. 青海油田研究院 甘肃敦煌 736206)

摘要 为了确定南翼山油田浅层(N_2^2)的油气来源和油气的运移路径,利用油藏地球化学技术和统计学上的相关性原理进行运移参数的筛选和分析,综合各项指标认为,研究区的油气在西北和北北东各有一个注入方向,说明油气主要来自北边的小梁山凹陷,这与油源对比的结果相符。研究表明,含氮化合物作为油气运移的示踪剂具有一定的可行性和优越性。

关键词 柴达木盆地 南翼山油田 油藏地球化学 含氮化合物 非均质性 油气运移

第一作者简介 何国源 男 1982年出生 硕士研究生 石油地质与地球化学

通讯作者 关平 E-mail pguan@pku.edu.cn

中图分类号 TE122.1 **文献标识码** A

0 引言

南翼山构造位于柴达木盆地的西部北区,1955年地质普查时发现,1957年在构造高点开始钻探,发现了南翼山浅油藏(N_2^2),其石油地质储量为 1182×10^4 t^[1]。对于这个已经具有 50 年历史的油田,其油气来源却还颇存争议^[2-4],原因是其附近存在多个沉积中心,主要的有北边的小梁山凹陷和南边的英雄岭凹陷。因此,确定其油气来源和油气的运移路径是该区油气勘探可持续发展的一个关键而紧迫的任务,直接关系到勘探目标的选择。

近年来,国际上兴起的一门有机地球化学的前沿学科——油藏地球化学,为油气运移和聚集的研究提供了一种新方法,在国内外得到了广泛的应用^[5-8]。值得注意的是,油藏地球化学技术是有使用条件和前提的,在实际研究中往往容易被忽略。另外,有研究表明在通过原油的非均质性来判断其运移方向时,应当优先考虑含氮化合物,因为与其它指标相比,含氮化合物的强极性使其分馏效应显著,且受母源、沉积环境的影响相对较小^[9,10],但结合其他指标进行综合分析也是十分必要的。在实际的运用当中,究竟选择何种具体的运移参数才最为可靠是一个有争论的、值得探讨的问题,具有重要的理论和实际意义。

本次研究基于油藏地球化学技术,通过统计学上的相关性原理优选参数,探讨了南翼山油田的油气充

注成藏途径。

1 地质背景

南翼山构造是柴达木盆地茫崖坳陷南翼山背斜构造带上的一个三级构造(图 1),地面构造轴线呈北西—南东向,为一大而平缓的箱状背斜,构造长 39.3 km,宽 15.7 km,面积 620 km²,两翼基本对称,只是西端有南陡的现象。该构造目前已钻遇第三系七套地层,分别为狮子沟组(N_3^3 未见顶)、上油砂山组(N_2^2)、下油砂山组(N_2^1)、上干柴沟组(N_1)、下干柴沟组上段(E_3^2)、下干柴沟组下段(E_3^1)、路乐河组(E_{1+2} 未见底)^[11],各地层间均为整合接触。整个剖面主要由泥质岩和碳酸盐岩组成,夹少量粉砂岩。其中 $N_2^3-E_3^2$ 为湖相沉积, E_3^1 为三角洲河道砂—滨湖相沉积, E_{1+2} 为浅湖相沉积。

2 样品采集与实验方法

在南翼山油田约 8 km² 的范围内获取了 20 个 N_2^2 的 3+4 产层的原油样(图 2)。样品用玻璃瓶盛放,并立即用不透明胶带包裹放入暗箱,以防止长时间日光照射对原油成分产生影响。

利用中国石油大学(北京)重质油国家重点实验室分析测试中心进行原油样品的族组分分离和定量,以及饱和烃、芳烃、含氮化合物的色谱质谱分析。具体的实验条件如下:执行标准为 GB/T 18606—2001

①国家“973”重点研究基础规划项目(编号:2006CB202304)。

收稿日期:2008-04-27 收修修改稿日期:2008-08-03

《气相色谱质谱法测定沉积物和原油中生物标志物》使用仪器为 Thermo—Finnigan Trace—DSQ 气相色谱质谱联用仪; 色谱载气为 99.999% 氦气; 进样口温度为 300℃; 传输线温度饱和烃为 300℃, 芳烃为 280℃, 中性氮化物为 290℃; 色谱柱为 HP—5MS 弹性石英毛细柱, 饱和烃柱长 60 m, 内径 0.25 mm, 膜厚 0.25 μm, 芳烃和中性氮化物柱长 30 m, 内径 0.25 mm, 膜厚 0.25 μm, 饱和烃柱温为初温 50℃ 保持 1

m in, 以 20℃/m in 升温至 120℃, 后以 4℃/m in 升温至 250℃, 再以 3℃/m in 升至 310℃, 保持 30 m in, 芳烃升温程序为 80℃ 保持 1 m in, 再以 3℃/m in 升至 300℃, 保持 20 m in, 中性氮化物柱温为初温 80℃ 保持 1 m in, 以 15℃/m in 升温至 150℃, 再以 3℃/m in 升至 270℃, 保持 10 m in, 载气流速为 1 mL/m in, 质谱 E 源为 70 eV; 灯丝电流为 100 μA; 倍增器电压为 1 200 V。

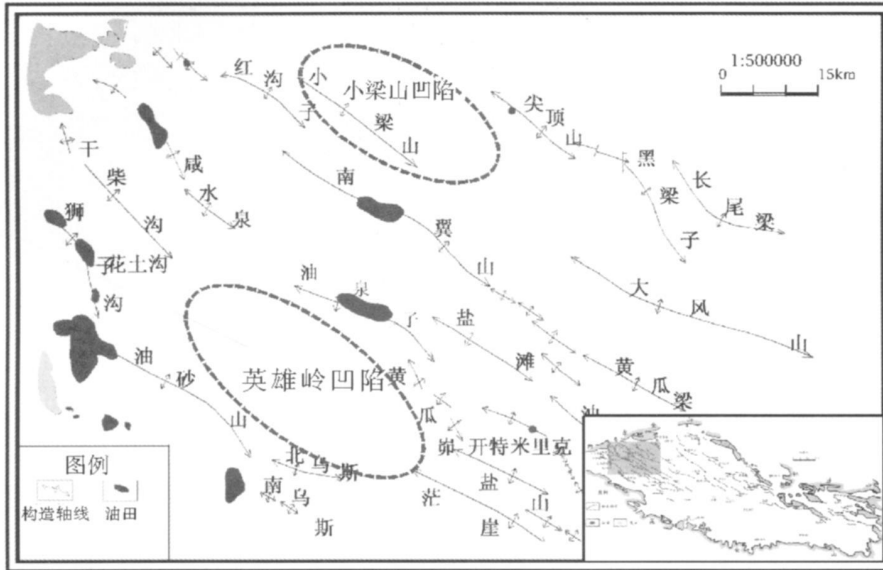


图 1 柴西北区南翼山油田区域位置图

Fig. 1 Zone position map of Nanyishan oilfield in the northwest Qaidam Basin

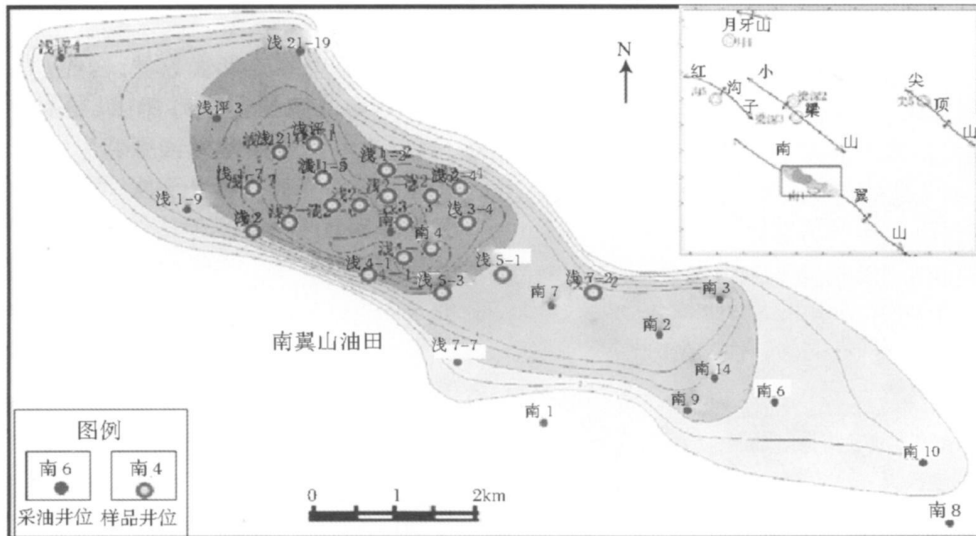


图 2 原油样品井位分布图

Fig. 2 Well location map of oil samples

3 结果和讨论

3.1 原油的基本地球化学性质

从测试数据得到的各项生标参数来看(表 1),原油规则甾烷相对含量 $\alpha\alpha\alpha 20R_{C_{27}}$ 范围为 41% ~ 52%, C_{28} 范围为 26% ~ 31%, C_{29} 范围为 21% ~ 30%, 呈 $\alpha\alpha\alpha 20R_{C_{27}} > \alpha\alpha\alpha 20R_{C_{28}} > \alpha\alpha\alpha 20R_{C_{29}}$ 分布, 显示以浮游植物为主的生源。样品具有较低的 Pr/Ph 值, 范围为 0.53~0.61, 较高的伽玛蜡烷 / $\alpha\beta C_{30}$ 藿烷值, 范围 0.46~0.56, $CPI < 1$, 正构烷烃呈单峰型、主峰碳为 C_{22} , 表明了原油形成于偏咸化、还原性的湖相沉积。原油成熟度不高, C_{29} 甾烷 $\alpha\alpha\alpha 20S/(20S+20R)$ 范围为 0.29~0.40 属低熟油。另外, 饱和烃保存有比较完整的系列, 说明样品没有遭受过严重的生物降解。综合各项指标判断, 这些原油为同一来源。

3.2 利用油藏地球化学探讨油气运聚方向

3.2.1 油藏地球化学原理

油藏地球化学的支撑观点是地质流体的非均质性, 即早期生成的成熟度较低的油气被晚期生成的成熟度较高的油气以波阵面的方式向前推, 这导致在油

气运移和充注的沿途中出现成熟度梯度, 而且油气运移过程中会产生运移分馏效应, 如果混合作用不充分, 在油藏不同高度或不同部位, 其总体物化性质和分子构成就具有非均质性^[5,6]。

油藏地球化学技术的应用条件和前提是: (1) 使用在适当的小范围内, 具有丰富的油、岩分析资料。(2) 原油未遭受严重的生物降解^[12]。(3) 油气的混合不充分, 即油藏的形成时期不能过早。另外, 原油的成熟度不宜过高, 不能超过生标的平衡值。通过前面基本的地球化学分析可知, 本次研究的原油样品是符合油藏地球化学的使用条件的。

研究油气运聚方向所涉及的原油非均质性主要包括含氮化合物的非均质性、成熟度的非均质性和总体物化性质的非均质性等。

3.2.2 含氮化合物的非均质性

一般来说含氮类化合物在油气运移过程中除了因较强的吸附作用而使其总含量减少外, 运移分馏效应还表现在以下四个方面: (1) 随着油气运移距离的增加, 屏蔽化程度高的异构体比屏蔽化程度低的异构体富集; (2) 高相对分子质量的同系列比低相对分子

表 1 南翼山构造 N_2 的 3+4 产层原油的基本化学参数

Table 1 The basic chemical parameters of oil in the 3+4 production formations of N_2 in the Nanyishan structure

井号	饱和烃 / (芳烃 + 非烃 + 沥青质)	CPI	$nC_{21} + nC_{22} /$ $nC_{28} + nC_{29}$	Pr/Ph	Pr/nC ₁₇	Ph/nC ₁₈	$\alpha\alpha\alpha 20R-\alpha\alpha\alpha 20R-\alpha\alpha\alpha 20R-$			$\alpha\alpha\alpha-C_{29}-$ 甾烷 20S/(20R + 20S)	伽马蜡烷 / $\alpha\beta C_{30}$ 藿烷	MNR	MPR	MPI-1
							甾烷 C ₂₇ %	甾烷 C ₂₈ %	甾烷 C ₂₉ %					
浅 5-1	11.67	0.98	2.09	0.57	0.59	1.01	44.72	28.09	27.18	0.38	0.50	2.01	1.18	0.73
浅评 1	5.26	0.99	1.98	0.54	0.60	1.09	46.84	27.50	25.66	0.35	0.55	4.81	1.19	0.75
浅 7-2	6.11	0.99	2.08	0.57	0.62	1.06	44.63	28.07	27.30	0.32	0.46	6.45	1.26	0.76
南 4	5.97	0.97	1.65	0.53	0.60	1.06	45.28	28.25	26.47	0.36	0.54	2.29	1.20	0.72
浅 2-6	6.22	0.97	2.06	0.52	0.60	1.12	41.74	31.48	26.79	0.29	0.51	3.65	1.22	0.75
浅 3-3	6.67	0.98	1.97	0.54	0.59	1.05	43.48	29.28	27.24	0.36	0.53	8.50	1.17	0.68
浅 3-4	6.02	0.97	1.89	0.54	0.63	1.13	46.11	27.91	25.98	0.40	0.51	4.23	1.20	0.72
浅 2-7	6.17	0.97	2.13	0.56	0.56	0.97	47.50	28.31	24.19	0.32	0.50	2.60	1.15	0.70
浅 5-3	8.60	0.98	2.22	0.58	0.60	0.98	48.92	26.41	24.66	0.38	0.54	3.93	1.14	0.70
浅 2-1	5.23	0.97	2.08	0.54	0.59	1.04	47.03	27.65	25.32	0.35	0.51	5.20	1.18	0.72
浅 2-4	5.53	0.99	2.07	0.54	0.58	1.10	41.12	28.44	30.44	0.37	0.54	2.58	1.19	0.73
浅 4-2	6.70	0.97	2.12	0.55	0.59	1.05	46.76	27.81	25.42	0.38	0.50	2.41	1.16	0.73
浅 21-13	6.85	0.98	1.80	0.54	0.56	0.99	47.07	27.78	25.14	0.33	0.51	4.70	1.03	0.68
浅 1-7	8.53	0.96	2.20	0.57	0.54	0.94	48.25	28.50	23.24	0.32	0.47	1.44	1.01	0.64
浅 1-5	7.10	0.98	2.00	0.55	0.58	1.03	48.33	27.06	24.61	0.35	0.47	1.23	1.04	0.67
浅 2-3	5.54	0.98	1.99	0.53	0.60	1.09	41.11	30.14	28.75	0.35	0.56	2.20	1.07	0.68
浅 1-2	5.54	0.97	2.05	0.53	0.59	1.06	46.55	27.51	25.95	0.39	0.50	1.85	1.04	0.67
浅 2-2	5.82	0.98	1.98	0.53	0.60	1.10	42.16	30.71	27.13	0.33	0.53	1.18	0.87	0.60
浅 4-1	8.78	0.98	2.10	0.57	0.56	0.96	47.62	27.69	24.69	0.37	0.48	1.84	0.93	0.65
浅 2-8	7.49	0.98	2.27	0.61	0.52	0.84	51.56	27.12	21.32	0.32	0.51	1.35	0.92	0.63

质量的同系物富集; (3) 吡啶系列比苯并吡啶、二苯并吡啶系列富集; (4) 苯并吡啶 [a] 可能比苯并吡啶 [c] 富集^[13 14]。

可以组合的含氮化合物运移参数众多, 尽管同源同期原油的含氮化合物的非均质性主要是由运移过程当中的地质色层效应所控制, 但是不能排除其他潜在地质因素的干扰, 例如水动力、成岩作用和构造运动等, 且含氮化合物的运移效应本身除了受屏蔽效应的影响外, 有些则主要受空间位阻的影响, 但更多的是同时受二者的共同作用。两种作用可能导致相同的结果, 也可能导致不同的结果^[15]。因此选用不同的参数可能得到不同的结论, 甚至是相反的结论, 在实际的运用当中就出现过某些常用指标所指示的结果与实际地质情况不符^[16 17]。因此在参数的选择上应该谨慎, 应当结合实际的地质背景以及综合其他参数进行分析。张枝焕等曾经以吡咯类含氮化合物丰度和 1, 8-二甲基吡啶 / 2, 7-二甲基吡啶两项参数作为基准, 通过与这两个参数之间的相关性研究来判断其他参数的可靠性^[15]。但是这两项参数的可靠性仍是值得探讨的, 虽然二者在许多地区 (如松辽盆地新站油田^[16 18]) 的油气运移研究中发挥了一定的作用, 但也有发现其效果不明显的情况^[16]。因此, 具体的参数选择仍应该视具体的研究地区而定。

本文采用一种较为简便而有效的方法: 通过计算各常用指标两两之间的相关系数值, 相关系数高的说明其可能受同一因素的控制和影响, 对于同源同期原油的含氮化合物来说, 这一因素应该是运移分馏效应^[6 19 20]。

本次研究的原油样品均检测出烷基吡啶和苯并吡啶, 且烷基吡啶从吡啶、甲基吡啶、二甲基吡啶、乙基吡啶到三甲基吡啶成系列完整分布, 这也验证了吡啶具有较高的稳定性, 可以作为良好的运移指标^[21]。笔者选择了最为常用的 23 个运移指标 (见表 2), 计算了它们两两之间的相关系数值。查相关系数表可知, 20 个样品的相关系数的界限值 r 为 0.4227, 即两个参数的相关系数的绝对值大于此值说明它们具有相关性, 小于此值则无相关性。总的来说, 样品的各项含氮化合物参数之间的相关系数值较高, 这也说明了其非均质性主要是受运移分馏效应的影响。其中三甲基吡啶-A / 三甲基吡啶-C、1, 8- / 5-二甲基吡啶、1- / 2+ 3+ 4 甲基吡啶、1, 8- / 2, 4+ 2, 5-二甲基吡啶、2, 6+ 2, 7- / 2, 4+ 2, 5-二甲基吡啶和三甲基吡啶 / 甲基吡啶分别与其他 22 个参数中的 19 个具有相关

性, 相关程度达到了 86.4% (此 6 项参数两两之间的相关性如图 3 所示), 说明这 6 个指标作为本区油气运移的示踪剂, 其可靠性是最高的。值得提出的是, 三甲基吡啶 / 甲基吡啶与其他 5 项指标是呈比较好的负相关, 说明其位阻效应大于屏蔽效应。另外可以发现, 几个比较常用的吡啶类丰度参数与上述除了三甲基吡啶 / 甲基吡啶之外的 5 个比值参数呈正相关, 这与理论不符, 考虑到含氮化合物的含量比较低, 定量分析时不可避免的存在系统误差, 而且某些地质或地球化学因素对含氮化合物绝对浓度的影响要大于其浓度比值, 所以配比参数应该是较为理想的选择, 而且几个丰度参数与其它参数的相关系数值相对较低, 因此本次研究不予考虑。

以和其他参数相关性最好的 1, 8-二甲基吡啶 / 2, 5-二甲基吡啶为例 (其超过 r 的相关系数绝对值的平

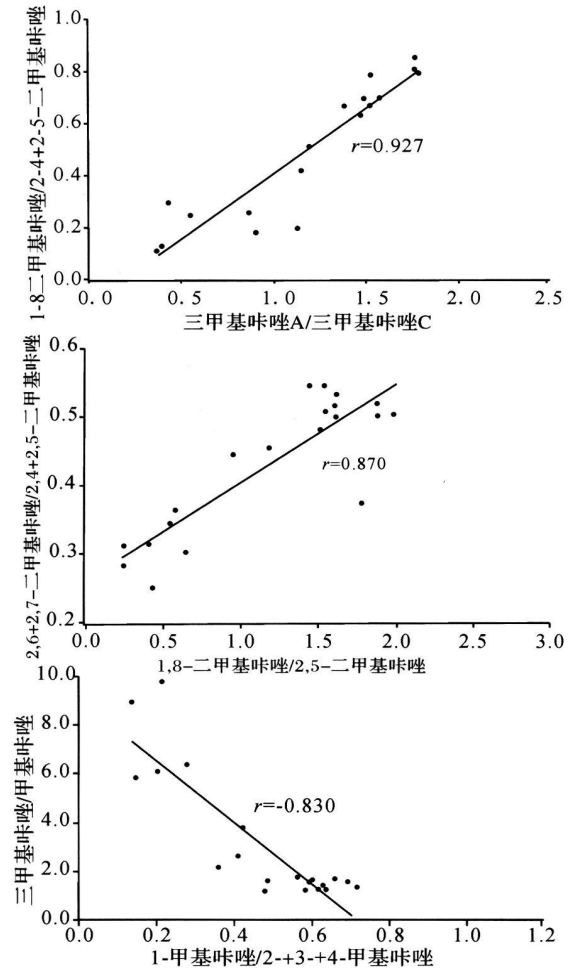


图 3 南翼山油田 N_2 原油的部分含氮化合物参数关系图

Fig 3 The relationship between some pyrrolic nitrogen compound parameters of N_2 oil in the Nanyishan oilfield

表 2 南翼山油田 N₂ 的 3+ 4 产层原油的含氮化合物参数

Table 2 The nitrogen-compounds parameters of oil in the 3+ 4 p production formations of N₂ in the Nanyishan oilfield

井号	总量 /(mg)	烷基 吡啶 /(mg)	苯基 吡啶 /(mg)	裸露型 吡啶 /(mg)	屏蔽型 吡啶 /(mg)	部分 屏蔽型 吡啶 /(mg)	烷基 吡啶 /(mg)	1-甲基 吡啶 /(mg)	1,8-二 甲基吡 啶 /(mg)	苯并吡 啶 /(mg)	1,3-二 甲基吡 啶 /(mg)	1,8-二 甲基吡 啶 /(mg)	1-甲基 吡啶 /(mg)	1,8-二 甲基吡 啶 /(mg)	1,8-二甲 基吡啶 /(mg)	1,3+ 1,6 2,6+ 2,7- 1,8-二		2,4- / 5-二甲 基吡啶 /(mg)					
																2,4- / 5-二甲 基吡啶 /(mg)	2,4- / 5-二甲 基吡啶 /(mg)						
浅 5-1	20.695	20.163	0.532	7.885	2.888	9.389	0.366	1.191	37.892	1.384	1.996	1.187	1.055	1.580	1.607	0.633	0.436	0.700	0.826	0.517	0.528	1.296	1.296
浅评 1	17.407	17.039	0.367	6.552	2.553	7.935	0.390	1.211	46.396	0.948	1.778	0.960	1.115	1.378	1.541	0.488	0.399	0.666	0.775	0.546	0.515	1.627	1.313
浅 7-2	9.022	8.861	0.161	3.422	1.338	4.101	0.391	1.199	55.124	0.696	1.296	1.094	1.159	1.144	0.961	0.411	0.274	0.415	0.515	0.444	0.531	2.661	1.317
南 4	18.609	18.181	0.429	6.533	2.894	8.753	0.443	1.340	42.418	1.359	3.177	1.197	1.119	1.782	1.784	0.715	0.455	0.792	0.757	0.378	0.601	1.387	1.254
浅 2-6	1.762	1.545	0.217	0.557	0.210	0.778	0.377	1.398	7.130	0.135	0.661	1.163	1.276	0.900	0.415	0.135	0.115	0.178	0.135	0.314	0.853	8.937	1.333
浅 3-3	26.573	26.129	0.444	9.674	3.977	12.478	0.411	1.290	58.871	1.193	2.051	1.014	1.128	1.515	1.544	0.564	0.382	0.667	0.770	0.508	0.497	1.743	1.314
浅 3-4	28.532	27.469	1.064	11.429	3.483	12.557	0.305	1.099	25.823	0.887	1.575	1.282	1.135	1.192	1.189	0.480	0.356	0.509	0.683	0.457	0.520	1.305	1.337
浅 2-7	17.063	16.837	0.226	5.858	2.819	8.160	0.481	1.393	74.430	1.310	2.596	0.856	1.141	1.754	1.995	0.661	0.419	0.852	0.771	0.505	0.544	1.729	1.341
浅 5-3	23.695	23.141	0.554	9.113	3.170	10.857	0.348	1.191	41.746	1.382	2.237	1.198	1.045	1.573	1.530	0.613	0.409	0.697	0.811	0.482	0.504	1.259	1.196
浅 2-1	10.338	9.641	0.697	4.051	1.021	4.569	0.252	1.128	13.823	0.683	0.925	1.391	1.231	0.549	0.558	0.422	0.186	0.244	0.359	0.344	0.518	3.790	1.288
浅 2-4	5.961	5.232	0.728	2.450	0.442	2.340	0.181	0.955	7.183	0.195	0.431	1.272	1.234	0.369	0.256	0.146	0.099	0.110	0.191	0.311	0.520	5.850	1.319
浅 4-2	28.536	27.767	0.769	11.338	3.756	12.673	0.331	1.118	36.112	1.265	1.698	1.216	1.033	1.469	1.454	0.583	0.401	0.632	0.800	0.546	0.502	1.280	1.300
浅 21-13	32.069	29.303	2.765	12.151	3.232	13.920	0.266	1.146	10.597	0.500	0.841	1.497	1.080	0.862	0.589	0.359	0.169	0.235	0.320	0.364	0.528	2.167	1.308
浅 1-7	2.860	2.478	0.383	1.150	0.301	1.027	0.262	0.893	6.476	0.272	1.359	1.046	1.185	0.428	0.656	0.202	0.224	0.292	0.115	0.302	1.951	6.112	1.244
浅 1-5	2.100	1.805	0.295	0.810	0.187	0.808	0.231	0.998	6.125	0.233	0.540	1.248	2.460	0.390	0.253	0.213	0.096	0.122	0.120	0.284	0.805	9.802	1.082
浅 2-3	1.749	1.348	0.402	0.482	0.173	0.693	0.358	1.439	3.356	0.313	0.901	1.295	1.330	1.121	0.437	0.276	0.163	0.193	0.186	0.252	0.874	6.392	1.266
浅 1-2	19.394	18.899	0.495	7.027	2.796	9.077	0.398	1.292	38.206	1.248	2.034	1.169	1.018	1.484	1.626	0.628	0.431	0.694	0.793	0.501	0.543	1.461	1.341
浅 2-2	18.872	18.498	0.374	6.838	3.015	8.645	0.441	1.264	49.436	1.196	2.190	1.117	1.030	1.523	1.882	0.603	0.484	0.794	0.818	0.520	0.591	1.688	1.369
浅 4-1	9.971	9.811	0.161	3.652	1.303	4.656	0.411	1.275	61.106	1.151	1.847	1.229	1.171	1.565	1.626	0.595	0.393	0.693	0.757	0.532	0.520	1.633	1.347
浅 2-8	10.810	10.614	0.196	3.820	1.732	5.062	0.453	1.325	54.059	1.371	2.352	1.261	1.068	1.752	1.882	0.693	0.463	0.812	0.799	0.501	0.579	1.584	1.318

均值为 0.757), 做了其等值线图 (图 4)。由于 1,8-二甲基吡啶属于屏蔽型异构体, 极性较小, 运移较快, 而 2,5-二甲基吡啶为暴露型异构体, 极性较大, 运移较慢, 因此运移距离越远, 这二者的比值越大。从图 4 可以明显看出, 南翼山 N₂ 的 3+ 4 产层的原油具有两个注入方向: 一个是北北东方向, 由浅 2-4 井往西南至浅 2-3 井再到浅 2-2 井, 1,8-二甲基吡啶 / 2,5-二甲基吡啶从 0.26 至 0.44 再至 1.88 递增; 另一注入方向位于西北方向, 由浅 1-5 井往东南方向至浅 2-6 井再到浅 4-1 井, 1,8-二甲基吡啶 / 2,5-二甲基吡啶从 0.25 至 0.42 再至 1.63 递增。这说明南翼山浅层的油气主要来自北边小梁山凹陷, 与油源对比的结论一致^[22]。

3.2.3 成熟度的非均质性

从表 1 的生标成熟度指标可以看出, 北北东方向由浅 2-4 井至浅 2-3 井再到浅 2-2 井, C₂₉ 甾烷 αα20S / (20S + 20R) 由 0.37 至 0.35 再到 0.33 递减。芳烃指标 MNR 由 2.58 至 2.2 再至 1.18 递减; 西北方向由浅 21-13 井至浅 2-6 井再到浅 4-1 井,

MNR 由 4.7 降至 3.65 再至 1.84 成熟度递减。这与含氮化合物具有相同的运移指向, 但是各项成熟度参数间的相关系数相对较低, 指示的效果也就不如含氮化合物明显。

3.2.4 总体物化性质的非均质性

由于化合物的极性越大越容易被疏导层所吸附, 相应吸附顺序为: 极性化合物 > 芳烃 > 异构烷烃 > 正构烷烃^[23], 因此随着运移距离的增大, 烷烃的相对含量是增加的。北北东方向由浅 2-4 井至浅 2-3 井再到浅 2-2 井, 烷烃 / (芳烃 + 非烃 + 沥青质) 由 5.53 至 5.54 再到 5.82 依次增加, 西北方向往东南, 由浅 21-13 井至浅 1-5 井再到浅 4-1 井, 其值由 6.85 至 7.1 至 8.78 递增。另外, 随运移距离的增大, 由于胶质和沥青质含量的降低, 原油密度和粘度递减。从我们所获得的几口井的原油物性来看, 由浅 3-4 井往西南至浅 3-2 井再到南 4 井, 该产层原油的密度由 0.8381—0.8313—0.8276 (g/cm³) 递减, 原油的 50℃ 粘度则由 6.65—6.05—4.33 (mPa·s) 递减。

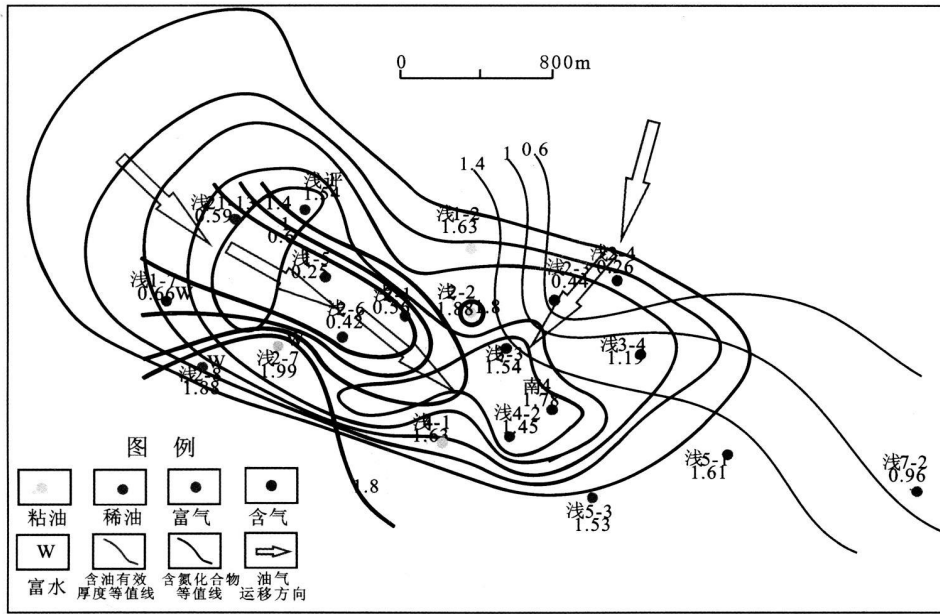


图 4 南翼山油田 N_2 原油的 1,8-二甲基咪唑 /2,5-二甲基咪唑等值线图

Fig 4 The isoline of 1,8-DMC/2,5-DMC of N_2 oil in the Nanyishan oilfield

另外,我们通过野外的实地考察发现,在油气汇聚部位的浅 1-2 井、浅 2-2 井和浅 4-1 井的原油粘度很大,可能是属于成熟度很低的粘油,由表 1 也可以看出,这 3 口井的原油成熟度是最低的,这也说明了早先形成的成熟度较低的原油最先进入圈闭。另外在油气的汇聚部位发现浅 2-1 井、南 4 井和浅 5-3 井的含气量很大,说明存在一个气顶,而位于周缘的浅 1-7 浅 2-7 和浅 2-8 井含水量很大,说明其可能处于油水边界。上述特征所指示的油气运聚方向与含氮化物的结果也比较一致。

3.2.5 其他地化参数的非均质性

罗毅等的研究认为芳烃的甲基菲系列中 9-甲基菲比其他异构体更容易运移^[24],本次研究运用 9-甲基菲 /1-甲基菲判断的油气运聚方向也支持含氮化物的结论:东北方向由浅 2-4 井至浅 2-3 井再到浅 2-2 井,9-甲基菲 /1-甲基菲由 1.29—1.37—1.44 递增,西北方向,由浅 2-6 至井浅 4-1 井,由 1.31 增至 1.46,但是该参数的应用效果也不如含氮化合物明显,可能是受其他因素(如成熟度)的干扰。

4 主要结论

(1) 综合原油含氮化合物、成熟度、总体物化性质和其他地化指标分析认为,柴西北区南翼山构造 N_2 的 3+4 产层的油气在西北和北北东方向各有一个

注入方向,说明油气来自于北边的小梁山凹陷,与油源对比的结果相符,这为该区域的下一步勘探提供了一个方向。

(2) 在南翼山油田的实践证明,运用含氮化合物判断油气的运移路径具有一定的可行性和优越性。考虑到实际地质情况的复杂性而导致的参数多解性,通过计算参数间的相关系数来选择运移指标不失为一种简单而有效的方法。

参考文献 (References)

- 李元奎. 南翼山裂缝性油气藏特征及分布规律探讨 [J]. 天然气工业, 2000 20(3): 22-25 [Li Yuankui. Investigation of feature and distribution law of fracture oil and gas reservoir in Nanyishan mountain [J]. Nature Gas Industry, 2000 20(3): 22-25]
- 黄杏珍, 邵宏舜, 顾树松. 柴达木盆地的油气形成与寻找油气田方向 [M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1993 212-341 [Huang Xingzhen, Shao Hongshun, Gu Shusong. Formation and Area for Finding Oil and Natural Gas in the Qaidam Basin [M]. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press, 1993 212-341]
- 黄第藩, 张大江, 李晋超, 等. 柴达木盆地第三系油源对比 [J]. 沉积学报, 1989 7(2): 1-14 [Huang Diefan, Zhang Dajiang, Li Jinchao, et al. The correlations between Tertiary crude oils and source rocks from the Qaidam Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1989, 7(2): 1-14]
- 甘贵元, 魏成章, 常青萍, 等. 柴达木盆地南翼山湖相碳酸盐岩油气藏特征及形成条件 [J]. 石油实验地质, 2002 24(5): 413-417 [Gan Guiyuan, Wei Chengzhang, Chang Qingping, et al. Character-

- ties and forming conditions of lake-facies carbonate-rock oil and gas pools in the Nanyishan structure of the Qaidam Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment* 2002, 24(5): 413-417
- 5 England & Mackenzie A S, Mann D M, *et al*. The movement and entrapment of petroleum fluids in the subsurface [J]. *Journal of the Geological Society, London* 1987, 144: 327-347
 - 6 Larer S R, Aplin A C. Reservoir geochemistry methods: applications and opportunities [J]. *The Geochemistry of Reservoirs* 1995, 86: 5-32
 - 7 张敏, 龙长河, 张俊, 等. 塔北地区三叠系油藏原油中性含氮化合物和烷基苯酚的运移分馏作用 [J]. *沉积学报*, 2001, 19(1): 150-155 [Zhang Min, Long Changhe, Zhang Jun, *et al*. Migration fractionation of neutral nitrogen compounds and alkylphenols in Triassic crude oils from Tabei field, Tarim Basin, China [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2001, 19(1): 150-155]
 - 8 刘洛夫. 塔里木盆地群4井原油吡咯类含氮化合物地球化学研究 [J]. *沉积学报*, 1997, 15(2): 184-187 [Liu Luofu. Investigation on pyrrolic nitrogen compounds in the Qun24 well oil of the Tarim Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 1997, 15(2): 184-187]
 - 9 Li M, Larer S R, Stoddart D, *et al*. Fractionation of pyrrolic nitrogen compounds in petroleum during migration: derivation of migration related geochemical parameters [C] // Cubitt J M, England W A, eds. *The Geochemistry of Reservoirs*. Geological Society Special Publication 1995, 86: 103-123
 - 10 刘洛夫, 王铁冠, 李素梅. 生物标志化合物和含氮化合物作为油气运移指标有效性的对比研究 [J]. *石油勘探与开发*, 2000, 27(4): 95-98 [Liu Luofu, Wang Tieguan, Li Sumei. A comparison study on the effectiveness of using biomarker and nitrogenous compound as indexes indicating oil and gas migration [J]. *Petroleum Exploration and Development* 2000, 27(4): 95-98]
 - 11 杜彬彬, 关平, 谭彦虎, 等. 柴达木盆地西部北区 E₃₁ 碎屑岩的成岩作用及其热力学分析 [J]. *沉积学报*, 2007, 25(6): 852-857 [Du Binbin, Guan Ping, Tan Yanhu, *et al*. Diagenesis and thermodynamics analysis in clastic reservoir E₃₁ of north area of West Qaidam Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2007, 25(6): 852-857]
 - 12 张春明, 赵红静, 梅博文, 等. 微生物降解对原油中咪唑类化合物的影响 [J]. *石油与天然气地质*, 1999, 20(4): 341-344, 348 [Zhang Chunming, Zhao Hongjing, Mei Bowen, *et al*. Effect of biodegradation on carbazole compounds in crude oils [J]. *Oil and Gas Geology*, 1999, 20(4): 341-343, 348]
 - 13 姜建群, 张占文, 李军, 等. 大民屯凹陷油气运聚史研究 [J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2005, 35(3): 326-331 [Jiang Jianqun, Zhang Zhanwen, Li Jun, *et al*. The study on hydrocarbon migration and accumulation history in Damintun Depression [J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition* 2005, 35(3): 326-331]
 - 14 李素梅, 庞雄奇, 黎茂稳, 等. 低熟油、烃源岩中含氮化合物分布规律及其地球化学意义 [J]. *地球化学*, 2002, 31(1): 1-7 [Li Sumei, Pang Xiongqi, Li Maowen, *et al*. Characteristics of pyrrolic nitrogen compounds and their geochemical significance [J]. *Geochimica* 2002, 31(1): 1-7]
 - 15 张枝焕, 王铁冠, 吴水平, 等. 原油中部分吡咯类含氮化合物运移参数的适用性 [J]. *成都理工大学学报: 自然科学版*, 2004, 31(2): 162-167 [Zhang Zhifan, Wang Tieguan, Wu Shui ping, *et al*. Discussion on effects of pyrrolic nitrogen compound parameters on petroleum migration [J]. *Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition*, 2004, 31(2): 162-167]
 - 16 王铁冠, 李素梅, 张爱云, 等. 利用原油含氮化合物研究油气运移 [J]. *石油大学学报: 自然科学版*, 2000, 24(4): 84-86 [Wang Tieguan, Li Sumei, Zhang Aiyun, *et al*. Oil migration analysis with pyrrolic nitrogen compounds [J]. *Journal of the University of Petroleum, China Edition of Natural Science* 2000, 24(4): 84-86]
 - 17 杨宪彰, 徐志明, 赵丹阳. 含氮化合物在油气地球化学中的应用 [J]. *天然气地球科学*, 2005, 16(6): 809-813 [Yang Xianzhang, Xu Zhiming, Zhao Danyang. The using of nitrogen compounds in geochemistry [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2005, 16(6): 809-813]
 - 18 张枝焕. 松辽盆地新站油田油藏地球化学描述 [D]. 北京: 中国石油大学, 2000 [Zhang Zhifan. Reservoir geochemical description of Xinzhao oilfield, Songliao basin, China [D]. Beijing: The University of Petroleum, China, 2000]
 - 19 黎茂稳. 油气二次运移研究的基本思路和几个应用实例 [J]. *石油勘探与开发*, 2000, 27(4): 11-19 [Li Maowen. Quantification of petroleum secondary migration distances: fundamentals and case histories [J]. *Petroleum Exploration and Development* 2000, 27(4): 11-19]
 - 20 李素梅, 王铁冠, 张爱云, 等. 原油中的吡咯类化合物的地球化学特征及其意义 [J]. *沉积学报*, 1999, 17(2): 312-317 [Li Sumei, Wang Tieguan, Zhang Aiyun, *et al*. Geochemistry characteristics and significance of the pyrrolic compounds in petroleum [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 1999, 17(2): 312-317]
 - 21 陈元壮, 刘洛夫, 陈利新, 等. 塔里木盆地塔中、塔北地区志留系古油藏的油气运移 [J]. *地球科学: 中国地质大学学报*, 2004, 29(4): 473-482 [Chen Yuanzhuang, Liu Luofu, Chen Lixin, *et al*. Hydrocarbon migration of Silurian paleo-pools in Tazhong and Tabei areas of Tarim Basin [J]. *Earth Science: Journal of China University of Geoscience*, 2004, 29(4): 473-482]
 - 22 何国源, 谭彦虎, 关平, 等. 柴达木盆地西部北区第三系油源研究 [J]. *天然气地球科学*, 2008, 19(4): 509-518 [He Guoyuan, Tan Yanhu, Guan Ping, *et al*. Research on Tertiary oil source in the northwest Qaidam Basin [J]. *Natural Gas Geoscience* 2008, 19(4): 509-518]
 - 23 赵长毅. 煤成油生成、运移与油气藏形成 [J]. *中国矿业大学学报*, 1999, 28(1): 65-68 [Zhao Changyi. Generation, expulsion and accumulation of oil derived from coal [J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 1999, 28(1): 65-68]
 - 23 罗毅, 李学著, 薛秀丽. 百色盆地油气运聚特征分析 [J]. *沉积与特提斯地质*, 2003, 23(2): 76-81 [Luo Ti, Li Xue zhu, Xue Xuli. The oil and gas migration in the Baise Basin, Guangxi [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology* 2003, 23(2): 76-81]

The Path of Hydrocarbon Charge and Accumulation in Nanyishan Oilfield of the Northwest Qaidam Basin

HE Guo-yuan¹ GUAN Ping¹ TAN Yan-hu² LI Yuan-ku¹

ZHANG Wen-tao¹ DU Bin-bin¹ YU Hong-jiao¹

(1 School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871; 2 Qinghai Oilfield Academic, Dunhuang Gansu 736206)

Abstract In order to make sure the hydrocarbon source and migration path of N_2 in the Nanyishan oilfield, we use the technique of reservoir geochemistry and the correlation principle of statistics to filter and analyze the migration indexes. By combining several kinds of indexes, we make a conclusion that there are two oil and gas injection directions (northwest and north-north-west) in the research area, indicating that the oil and gas are from Xiaoliangshan depression, which is consistent with the result of the oil sources comparative study. And the research finds that nitrogen compounds, which serve as the tracers for oil and gas migration, have feasibility and advantage to some extent.

Key words Nanyishan oilfield in Qaidam Basin, reservoir geochemistry, nitrogen compounds, heterogeneity, hydrocarbon migration