

千米桥古潜山高蜡凝析油的高分子量(C_{35}^+) 正烷烃分布及其烃源灶方位*

王铁冠^{①**} 朱丹^① 卢鸿^{①②} 张枝焕^① 苏峻青^③ 廖前进^③

①石油大学教育部石油天然气成藏机理重点实验室, 北京 102249; ②中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640;

③大港油田集团地质勘探开发研究院, 天津 300280)

摘要 采用高温气相色谱技术, 分析了渤海湾盆地千米桥奥陶系古潜山油气田的高蜡凝析油, 检测出其高分子量蜡馏分主要由 C_{35} ~ C_{69} 正烷烃组成, CPI₃₇₋₅₅ 值为 0.94~1.10, 属于高成熟原油的范畴。鉴于当前钻井取岩心不足和烃源灶方位的不确定性, 利用高蜡凝析油与周缘高蜡原油的高分子量正烷烃作对比, 结合原油含蜡量的平面分布, 预测烃源灶方位主要来自千米桥东侧的歧口凹陷方向。此外, 还运用原油的 9 项成熟度参数, 结合 3 项含氮化合物参数, 确认千米桥古潜山高蜡凝析油是从北东至南西方向充注的, 即从板深 4 井逐次向板深 7 和 8 井方向充注成藏。

关键词 千米桥古潜山 高蜡凝析油 高温气相色谱 高分子量蜡馏分 高分子量正烷烃

高蜡凝析油是一种特殊的烃类资源, 即由常温、常压下组成固态蜡馏分的烷烃, 在高温、高压的地层条件下, 溶解于烃类气体中, 形成单一气相的凝析气藏。一经开采, 凝析气进入油井中, 由于温度、压力下降, 再次分异成多相产物, 从而在井口产出天然气、液态的含蜡凝析油以及固态的石蜡或地蜡等不同产物。这种特殊资源较为罕见, 在地球化学文献中尚未见专门的研究报道。但是, 近年来, 这种烃类资源在我国塔里木盆地以及渤海湾盆地相继有所发现。

石油中晶析出的固态烷烃混合物, 称为石蜡。石蜡的成分主要是 C_{25} ~ C_{90} 正烷烃, 其中 C_{30}^+ 高分子量正烷烃常占一定优势, 此外还可含有异构烷烃和环烷烃^[1,2]。通常采用蒸馏法或吸附法测定原油含蜡量。人们把含蜡量 $\geq 15\%$ (或 $\geq 10\%$) 的原油称作高蜡油, 其中大都富含 C_{35}^+ 高分子量蜡(HMW)馏分。

20 世纪 80 年代中期以来, 高温气相色谱 (HTGC) 技术的发展扩大了烃类分子的检测范围, 提供了检测 C_{40} ~ C_{100} HMW 蜡馏分的手段^[1-4]。本文报道在渤海湾盆地千米桥古潜山高蜡凝析油田, 运用 HTGC 分析技术剖析 HMW 蜡馏分的研究成果。鉴于该区周缘深层烃源岩钻井取岩心不足, 不具备运用常规油-岩对比方法确定烃源灶的条件, 本文尝试采用油藏地球化学理论与方法, 根据 HMW 正烷烃与原油含蜡量的分布, 结合含氮化合物及成熟度参数, 示踪石油充注方向与途径, 预测千米桥油气田高蜡凝析油的烃源灶方位。

2002-06-17 收稿

* 国家自然科学基金(批准号: 40172056)、教育部博士点基金(批准号: 2000042506)、中国石油天然气股份有限公司以及大港油田集团公司资助项目

** E-mail: geochem@bjpeu.edu.cn

1 石油地质-地球化学背景

千米桥古潜山位于渤海湾盆地黄骅拗陷北部,地质构造上系由两条大断层所夹持的大型垒式潜山断块带(图 1)。其西北侧为板桥凹陷,东侧是歧口凹陷,二者俱属下第三系的主要烃源区。千米桥古潜山由中奥陶统碳酸盐岩组成,上覆中生界及第三系陆相地层,缺失石炭系~二叠系。中奥陶统顶部剥蚀面埋深为 4050~4250 m,自 NE 向 SW 形成三个潜山高点(图 1)。

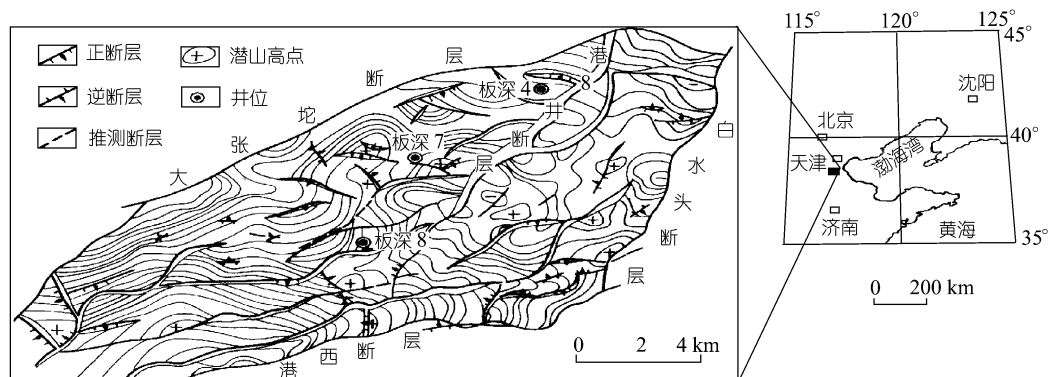


图 1 千米桥古潜山构造轮廓及板深 4、7 和 8 探井井位

1998 年在千米桥古潜山中高点钻板深 7 井,在 4500 m 以下的深层中奥陶统中首次获得高蜡凝析油,试油最高油产量达 609.3 m³/d,气产量 454117 m³/d,从而发现了这个古潜山油气藏。以后又在南、北潜山高点上钻探板深 8 和 4 井,从深层中奥陶统也获得高蜡凝析油。此外,在板深 7 井的浅层(2000 m 以上)第三系馆陶组和东营组砂岩中,还新发现三个浅油层,在邻近的板 14-1 井测试,获得遭高产的低蜡重稠油^[5]。

以板深 7 井两次中途测试为例。高蜡凝析油的产状,伴随大量的天然气的产出,在 4267~4281 m 井段产出乳白色石蜡与无色凝析油,含蜡量为 15.9%;而在 4332~4395.6 m 井段产出的则是浅蛋黄色石蜡与淡黄色凝析油,含蜡量达 34.1%。三口探井产天然气的凝析油含量不一,板深 7 井高达 314~345.6 g/m³,板深 8 井为 289.3 g/m³,板深 4 井仅 42.6 g/m³。

板深 4、7 和 8 井的 5 个高蜡凝析油样均呈现出低密度(0.78~0.8034 g/cm³)、低粘度(1.24~2.2 mPa·s)、中等凝固点(21~27℃)、低“胶质 + 沥青质”含量(3.12%~3.16%)和高含蜡量(15.9%~34.1%)等特征。

据研究,板桥、歧口凹陷均以下第三系沙河街组一、三段为主要烃源层,其暗色泥岩分别评价为“一般生油岩”和“好生油岩”^[6,7]。板桥凹陷沙一段中部与歧口凹陷沙一段中-上部发育未成熟~临界成熟烃源岩,沙一段下部为非烃源岩¹⁾。沙三段暗色泥岩是奥陶系古潜山“新生古储”高蜡凝析油气藏的烃源层^[8,11];同时,又以沙三段砂岩层为储层,形成沙三段的“自生自储”油藏。在黄骅拗陷,沙三段以下的层位不再有第三系的烃源层,只有石炭系与奥陶系两个古生界烃源层,三个烃源层的原油具有完全不同的地球化学特征^[8~10],分别属于不同的原油族群,至今尚未发现三者之间有混源油的问题。

1) 卢 鸿. 黄骅拗陷千米桥古潜山构造油气藏的油源研究. 石油大学(北京)博士论文, 2000

但是, 千米桥古潜山东侧歧口凹陷范围内, 迄今仍缺乏深层沙三段烃源岩岩心, 仅在古潜山西北侧位于板桥凹陷南部的板深 35 井钻达深部沙三段, 取得暗色泥岩岩心, 属于高成熟烃源岩^[8], 同时在 4719~4743 m 井段产出轻质原油. 板深 35 井沙三段泥岩和轻质原油的液态烃馏分, 与板深 4, 7 和 8 井高成熟的高蜡凝析油之间的碳同位素组成、分子标志物分布指纹与成熟度均具可比性, 指示轻质原油、高蜡凝析油与沙三段的湖相泥岩具有亲缘性^{[8][1]}. 但是, 板深 35 井轻质原油中不发育 HMW 蜡馏分.

2 实验方法

取两份原油样品作预处理. 一份油样采用柱色谱法分离出饱和烃和芳烃馏分, 以备进一步分析使用; 另一份油样加入适量四氢呋喃溶剂, 静置过夜, 然后将沉淀物过滤, 分离出浓缩的 HMW 蜡馏分, 溶剂挥发后备用.

应用岛津 GC-17A 气相色谱仪和 CLASSGC-10 工作站作原油饱和烃馏分气相色谱和 HMW 蜡馏分高温气相色谱分析. 原油芳烃馏分的色谱-质谱(GC-MS)分析采用 Finnigan SSQ-710 型 GC-MS 系统, 分析条件均参见王铁冠等^[5]. 原油含氮化合物的分析方法详见王铁冠等^[11], 分析结果提供示踪石油运移方向、途径的呋唑类参数.

3 成果与讨论

3.1 千米桥古潜山周缘地区原油含蜡量的分布

从千米桥古潜山周缘地区第三系原油的 3300 多个油样的含蜡量分析资料中, 选用钻开油层后的初次试油数据, 以表征油藏原始状态的物性. 统计表明, 第三系原油原始含蜡量分布范围为 0.31%~43.7%, 多数数据集中在 5%~15% 区间内(图 2). 按含蜡量分类, 一般将含蜡量 $\geq 15\%$ 的原油和凝析油定义为高蜡油, 5%~15% 为中蜡油, $< 5\%$ 为低蜡油. 千米桥周缘地区的原油基本上以中蜡油为主, 但是仍有相当数量的高蜡油, 其含蜡量处于 15%~45% 区间内.

3.1.1 含蜡量的层位分布意义 千米桥古潜山周缘地区从下第三系沙河街组三段至上第三系明化镇组都有油层分布. 试将每个层位中高蜡油的油样所占比率定义为该原油的“高蜡率(R_w)”. 统计表明, 纵向上原油高蜡率呈现双峰态分布, 即在沙一段中、上部(高蜡率 85.2%~84.6%)与沙三段(高蜡率 72.7%)呈现出两个高蜡率峰值层位, 其间为沙二段的低谷层位(表 1).

Hsieh 等^[2]指出, 随着石油运移远离生油母质, 沿途较高熔点的长链正烷烃陆续沉淀出来, 离析出

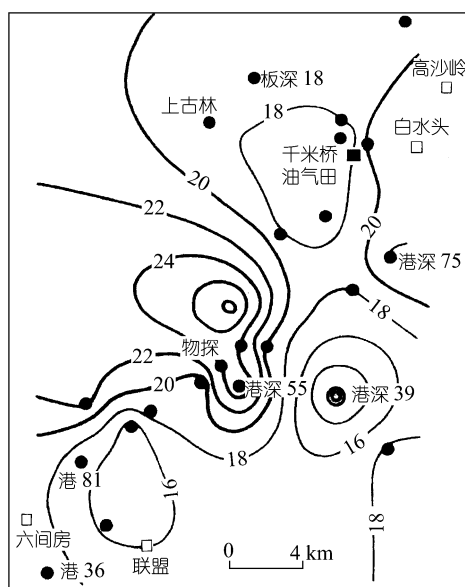


图 2 千米桥古潜山周缘地区沙三段原油含蜡量分布

● 标明含蜡量 $> 15\%$ 的高蜡油井位

1) 见 402 页脚注

大量微晶蜡, 剩余石油的高分子量链烷烃含量则相应逐渐降低. 因此, 纵向上高蜡率的峰值层位将是最可能的烃源层. 事实上, 烃源岩评价结果也完全证实, 沙一段中、上部与沙三段确实是千米桥周缘地区的两个主要烃源层^{[6-8]1)}.

表 1 千米桥古潜山周缘地区原油含蜡量层位分布的统计结果

地层单位	代号	样品数 件	试油含蜡量/%			高蜡率 R_w /%	
			最小值	平均值	最大值		
上第三系	明化镇组	Nm	32	5.3	14.4	23.7	50
	馆陶组	Ng	17	4.4	15.9	24.6	64.7
下第三系	沙河街组 一段上部	Es ₁ ^上	13	9.8	20.3	25.8	84.6
	沙河街组 一段中部	Es ₁ ^中	27	1.8	17.3	25.5	85.2
	沙河街组 一段下部	Es ₁ ^下	80	1.1	17.6	32.8	73.8
	沙河街组 二段	Es ₂	53	1.2	15.5	29.9	52.8
	沙河街组 三段	Es ₃	33	8.4	17.2	28.8	72.7

3.1.2 含蜡量的平面分布意义 同理, 油气的二次运移总是指向地层温度与压力降低的方向. 平面上, 在同一产油层位相同族群的原油中, 含蜡量的高值带应是最接近于烃源灶的部位. 因此, 千米桥地区沙三段烃源的“自生自储”油层中含蜡量平面分布, 也可用来作为一项预测该区沙三段烃源灶方位的参考标志, 从而为确定千米桥高蜡凝析油藏的充注方向提供地球化学依据.

图 2 展示千米桥古潜山周缘地区沙三段原油含蜡量的平面分布. 在图中, 该区沙三段原油含蜡量呈现“两侧高, 中间低”的分布格局, 即西侧的物探一带与东侧的白水头-港深 75 井一带均为原油含蜡量 > 20% 的高值带, 中间沿板深 18 井-港深 39 井-联盟一线构成含蜡量 < 20% 的低值带. 显然这两个高值带应该是沙三段高蜡原油烃源灶的指向. 千米桥古潜山恰好处在上述低值带的北段, 东侧的白水头-港深 75 井含蜡量高值带距离千米桥古潜山最近, 是直接向千米桥古潜山提供高蜡凝析油的最为捷径的烃源灶方位(图 2).

3.2 高蜡凝析油正烷烃的组成与分布型式

在板深 4, 7 和 8 井高蜡凝析油的饱和烃馏分气相色谱图上, 正烷烃碳数分布于 C₁₀~C₃₈ 范围, 主峰碳数在 C₁₄ 或 C₁₆ 碳位, C₃₅⁺ HMW 正烷烃仅呈痕量分布. 总体上, 正烷烃呈前峰型偏态分布, 以低碳数占优势, 轻重烃比($nC_{21} + nC_{22}$)/($nC_{28} + nC_{29}$)值高达 2.0~2.5, 不具奇偶优势, CPI₂₅₋₃₃ 与 OEP₁₅₋₁₉ 值分别为 1.05~1.08 和 1.04~1.10, 显示较高的成熟度(图 3).

HTGC 分析表明, 高蜡凝析油的正烷烃呈双峰态分布, 在 nC₃₅ 附近出现一个丰度的低谷. 前峰群与其饱和烃馏分气相色谱的正烷烃分布范围相当; 后峰群则为 HMW 蜡馏分, 主要由 C₃₅~C₆₉ HMW 正烷烃组成, 主峰碳数多在 nC₄₇ (惟板深 8 井为 nC₄₄ 主峰). 无论用内标绝对定量或按峰面积作相对定量计算, CPI₃₇₋₅₅ 和 OEP₄₅₋₄₉ 值分别为 0.94~1.10 和 1.04~1.10(图 4, 表 2), 与前述饱和烃馏分的 CPI₂₅₋₃₃ 和 OEP₁₅₋₁₉ 值基本相符, 不具奇偶优势, 确认属于成熟~高成熟油的范畴.

1) 见 402 页脚注

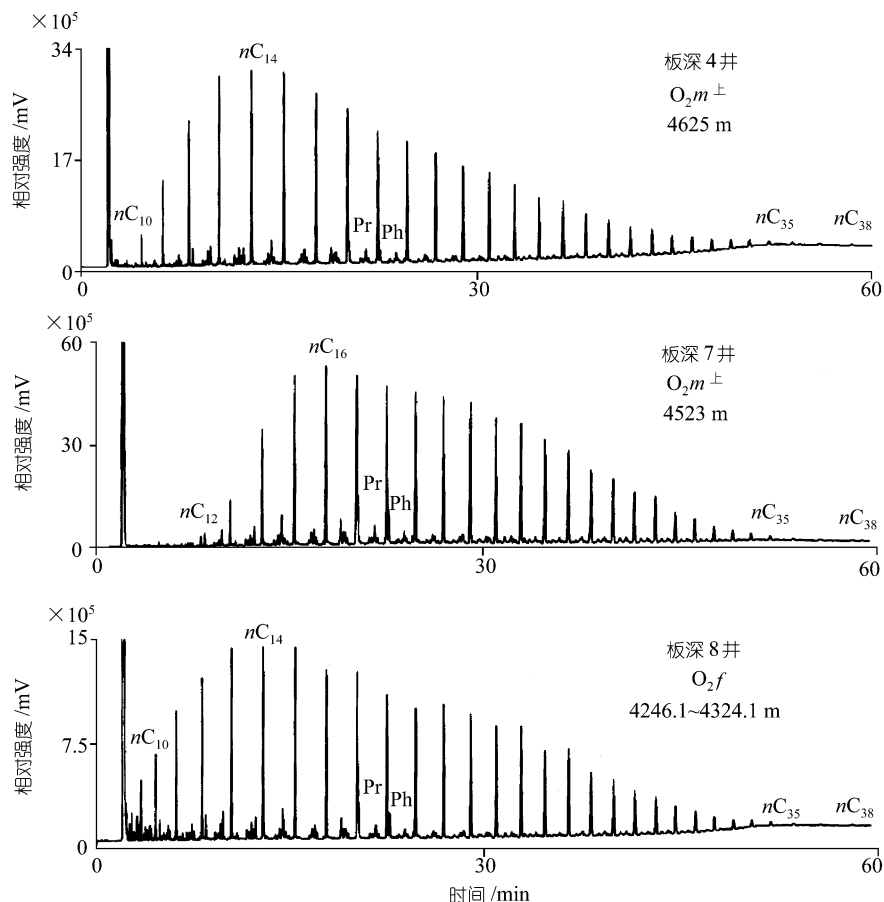


图 3 千米桥高蜡凝析油饱和烃馏分气相色谱图

Pr, 姥鲛烷; Ph, 植烷

3.3 HMW 蜡馏分的油-油对比

为弥补千米桥地区油源研究岩心不足的缺憾, 尽可能环绕古潜山四周选择高蜡油的产油井采样, 作 HMW 蜡馏分的油-油对比. 总共选出 8 口高蜡油井, 采集到沙三段~馆陶组各层位的高蜡油样, 与千米桥高蜡凝析油作 C_{35}^+ HMW 蜡馏分对比. 试图通过油-油对比, 获取 HMW 正烷烃平面分布、原油族群划分与烃源灶的信息.

板 14-1 井上第三系馆陶组重稠油 HMW 蜡馏分的 C_{35}^+ 正烷烃分布指纹, 总体上峰群分布范围变宽缓, 主峰前移至 nC_{43} . 该重稠油的 HMW 正烷烃分布指纹截然不同于奥陶系高蜡凝析油, 二者的相关系数仅 0.48, 显然应属不同的原油族群. 而且, 重稠油呈现出明显的奇偶优势, CPI_{37~55} 值 1.17, OEP_{41~45} 值达 1.16~1.20, 表明具低熟性(图 5, 表 2)^[5]. 甾、萜类与多环芳烃标志物对比, 也指示二者烃源层的差异, 板 14-1 井重稠油代表以千米桥东侧歧口凹陷港东地带低成熟~临界成熟的沙一段中、上部为烃源层的原油族群^[51], 而板深 4, 7 和 8 井高蜡凝析油为源自成熟-高成熟沙三段烃源层的族群^[8].

1) 见 402 页脚注

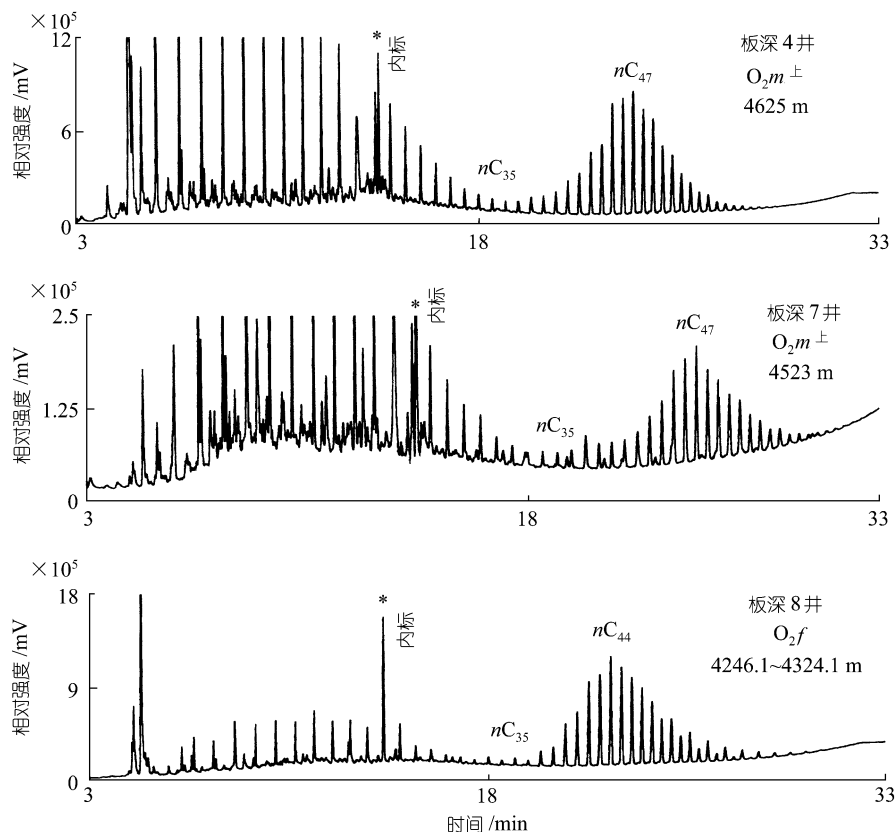


图 4 千米桥高蜡凝析油 C_{35}^+ HMW 蜡馏分气相色谱图

* 共注角鲨烷内标峰

尽管板桥凹陷板深 35 井沙三段烃源岩、轻质原油与板深 4、7 和 8 井高蜡凝析油的液态烃馏分显示出一定的亲缘性^[81]，但是轻质原油的 $C_{35}\sim C_{47}$ HMW 正烷烃仅呈痕量产出， C_{35}^+ HMW 正烷烃的分布指纹也与板深 4、7 和 8 井高蜡凝析油截然不同，其间完全不具可比性(图 5)。因此，板桥凹陷的轻质原油与千米桥高蜡凝析油不应属于同一个原油族群。若以板桥凹陷作为烃源灶，也无从解释高蜡凝析油中 C_{35}^+ HMW 正烷烃的物源。

值得注意的是，板深 4 井高蜡凝析油与千米桥古潜山东侧港东地带的板深 78-1(东营组二段 Ed_2)、板 G5(沙河街组二段 Es_2) 以及白 21-4(Es_2) 等井的高蜡原油之间， C_{35}^+ HMW 正烷烃分布指纹的相关性甚好，主峰大都在 $n-C_{47}$ ，特别是与板深 78-1 井高蜡原油的相关系数高达 0.99(图 5、6；表 2)。而且，这些高蜡原油的 C_{35}^+ HMW 正烷烃分布指纹完全不同于板 14-1 井重稠油(图 5，表 2)，从而表明高蜡原油与以沙一段为油源的重稠油不属相同族群，而与高蜡凝析油具有相同的烃源，理应属于同一原油族群。但是，由于产层的层位较新、埋藏较浅，成熟度偏低，这些高蜡原油的正烷烃呈现出一定的奇偶优势， CPI_{37-55} 和 OEP_{45-49} 值分别为 1.17~1.20 与 1.17~1.22(图 5，表 2)。这种成熟度差异只能反映原油生成与充注成藏时间的早晚差别，而非烃源与族群的区别。值得注意的是，板 G5，板深 78-1 和白 21-4 井的井位都在歧口凹陷的范

1) 见 402 页脚注

表 2 高蜡凝析油 nC_{35}^+ 高分子量蜡馏分组成特征

井号	井深/m	层位	含蜡量/%	nC_{35}^+ HMW 正烷烃分布					
				碳数范围	主峰	绝对定量 ^{a)}		相对定量 ^{b)}	
						CPI ₃₇₋₅₅	OEP ₄₅₋₄₉	CPI ₃₇₋₅₅	OEP ₄₅₋₄₉
板深 4	4625	O_2m^{\pm}	—	$nC_{35}\sim nC_{66}$	nC_{47}	1.09	1.09	1.09	1.11
板深 7	4523	O_2m^{\pm}	15.9~34.1 ^{c)}	$nC_{35}\sim nC_{66}$	nC_{47}	1.10	1.10	1.10	1.11
板深 8	4246~4324	O_2f	33.3	$nC_{35}\sim nC_{69}$	nC_{47}	0.94	1.04	0.94	1.05
板 G5	3229~3234	Es_2	24.6	$nC_{35}\sim nC_{72}$	nC_{47}	1.17	1.18	1.18	1.18
板深 78-1	2208~2210	Ed_2	—	$nC_{35}\sim nC_{75}$	nC_{47}	1.20	1.17	1.20	1.18
白 21-4	3133~3151	Es_2	23.2	$nC_{35}\sim nC_{72}$	nC_{45}	1.18	1.22	1.18	1.18
板 14-1	1801~1806	Ng_1^{III}	1.62	$nC_{35}\sim nC_{73}$	nC_{43}	1.17	1.16 ^{d)}	1.17	1.20 ^{d)}

a) 根据角鲨烷内标共注 HTGC 分析, 作绝对定量计算的结果; b) 根据 HTGC 色谱峰面积作相对定量计算的结果; c) 不同井段的两次中途测试数据; d) OEP₄₁₋₄₅ 值

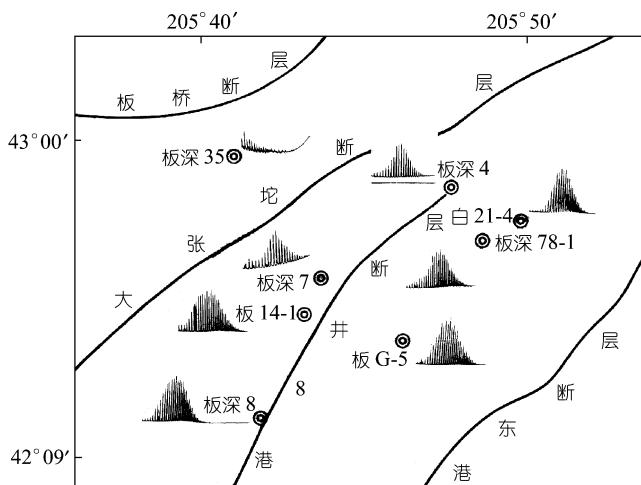


图 5 高蜡凝析油与高蜡原油的 nC_{35}^+ HMW 正烷烃分布指纹油-油对比

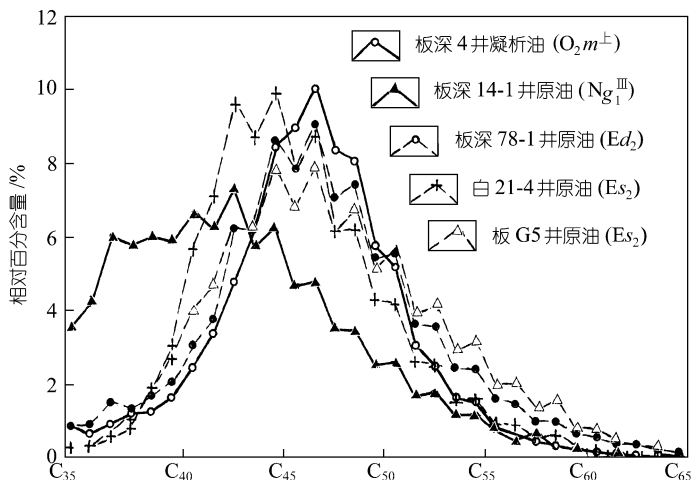


图 6 千米桥古潜山高蜡凝析油与周缘地区高蜡原油的 HMW 正烷烃高温气相色谱对比

围内(图 5). 因此, 上述油-油相关性表明, 以板深 4 井为代表的蜡凝析油应主要来源于千米桥古潜山以东的歧口凹陷方向, 而不是古潜山西北侧的板桥凹陷方向. 事实上, 从图 2 和 5 均可看出, 位于千米桥西北侧的板桥凹陷基本上不具备向千米桥古潜山提供高蜡馏分或 HMW 正烷烃的物质条件.

3.4 石油运移的示踪研究

England 等^[12]提出, 油流在储层内运移、充注的过程中呈“波阵面”式向前推进; 油流前缘的石油成熟度相对较低, 后续石油成熟度较高. 因此, 在一个油藏或一个构造区带之内, 平面上原油成熟度从高到低的微量变化可以作为油气运移的指向及示踪石油充注途径的标志. 换言之, 成熟度最高的原油应该最接近于油藏的充注点或烃源灶.

本文运用原油的 9 项常规成熟度指标, 示踪千米桥地区的石油充注方向. 轻烃馏分的石蜡指数 PI_1 和庚烷值 PI_2 , 饱和烃馏分的正烷烃轻重比 $(nC_{21} + nC_{22})/(nC_{28} + nC_{29})$ 与三萜烷参数 Ts/Tm , 芳烃馏分的甲基菲指 MPI_1, MPI_2, MPI_3 与 F_1 和 F_2 等参数均一致表明, 千米桥古潜山奥陶系高蜡凝析油的成熟度分布以板深 4 井成熟度值最高, 板深 7 井居中, 板深 8 井最低(表 3). 因此, 在千米桥古潜山内部, 中奥陶统高蜡凝析油应是从 NE 向 SW 方向运移、充注的, 即板深 4 井最接近于烃源充注点(图 7). 作为辅助标志, 图 7 和表 3 中高蜡凝析油的凝固点数据实际上反映凝析油运移途中所含溶解蜡数量降低的过程, 也指示了同样的运移趋势.

表 3 千米桥古潜山高蜡凝析油运移方向示踪参数^{a)}

井号		板深 4 井		板深 7 井			板深 8 井	
井段/m		4025	4625	4267~4281	4332~4395.6	4523	4151~4166	4266~4324
物性	凝固点/°C	27	-	24	24	-	21	22
轻烃	石蜡指数 PI_1	3.4	-	3.38	-	2.95	3.05	3.02
	庚烷值 PI_2	15.3	-	9.1	-	5.5	6.6	6.4
饱和烃	$\frac{(nC_{21}+nC_{22})}{(nC_{28}+nC_{29})}$	2.58	2.45	-	-	2.42	1.96	-
	Ts/Tm	1.38	1.5	-	1.11	-	-	1.27
芳烃 甲基菲	MPI_1	2.02	-	1.24	-	1.24	1.21	-
	MPI_2	2.8	-	1.64	-	1.67	1.62	-
	MPI_3	2.54	-	2.13	-	2.05	1.85	-
	F_1	0.72	-	0.68	-	0.67	0.65	-
	F_2	0.43	-	0.39	-	0.38	0.38	-
含氮化合物	PE/1,8-DMC	-	5.31	-	4.79	-	-	4.76
	NE/1,8-DMC	-	2.38	-	2.42	-	-	2.75
	[a]/[a]+[c]	-	0.37	-	0.46	-	-	0.47

a) PE/1,8-DMC 为部分暴露的二甲基咪唑类/1,8-二甲咪唑类; NE/1,8-DMC 为暴露的二甲基咪唑类/1,8-二甲咪唑类

由于石油运移过程的地色层效应, 原油含氮化合物的异构体组成可以作为示踪油气运移和油藏充注的指标^[13,14]. 原油的“NH-部分暴露的异构体含量/1,8-二甲咪唑含量”(简化为“PE/1,8-DMC”)与“苯并[a]咪唑/苯并[a]咪唑+苯并[c]咪唑”(简化为“[a]/[a]+[c]”)是两项行之有效的含氮化合物石油运移/充注参数. 随着石油运移距离增大, “PE/1,8-DMC”值趋于减小, “[a]/[a]+[c]”值则相应增大^[9,11,12]. 千米桥高蜡凝析油含氮化合物参数的平面变化, 表现为从板深 4 井经板深 7 井至板深 8 井, “PE/1,8-DMC”值逐次减小, “[a]/[a]+[c]”值依次增大, 同样示踪

千米桥古潜山奥陶系高蜡凝析油自 NE 向 SW 的运移、充注方向与途径 (图 7)。如图 2 所示, 千米桥古潜山的 NE 方向恰好指向原油高蜡率的白水头高值带方位。

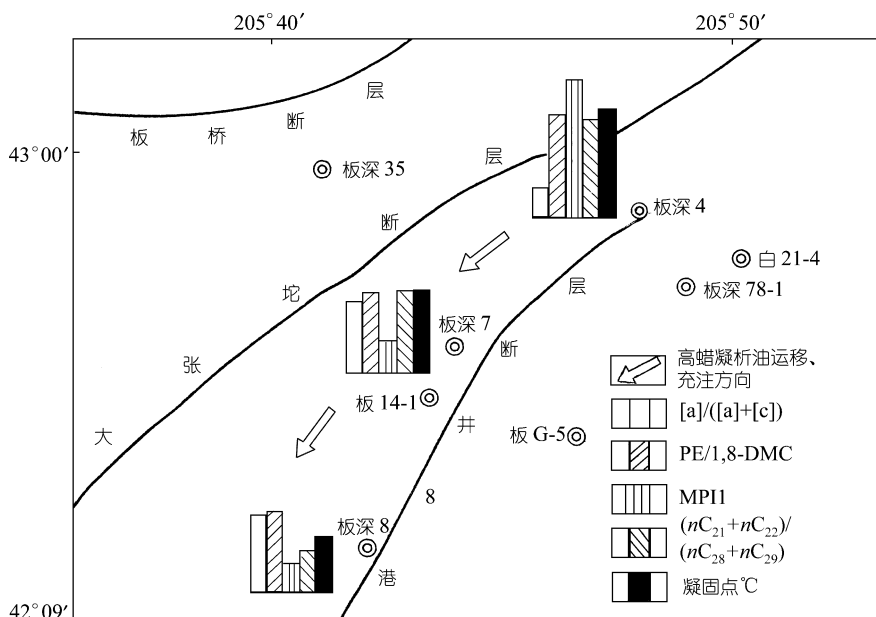


图 7 千米桥古潜山高蜡凝析油的运移和充注方向

[a]/([a]+[c]): 苯并[a]咪唑/(苯并[a]咪唑 + 苯并[c]咪唑); PE/1,8-DMC: 部分暴露的二甲基咪唑/1,8-二甲咪唑; MPI1=1.5 × [(3-MP) + (2-MP)]/[P + (9-MP) + (1-MP)]; 式中 MPI1 甲基菲指数为 1, M 为甲基, P 为菲, 数字为甲基的碳位; $(nC_{21} + nC_{22}) / (nC_{28} + nC_{29})$: 正烷烃轻重比

4 结论

千米桥古潜山中奥陶统高蜡凝析油含蜡量高(15.9%~34.1%), C_{13} ~ C_{69} 正烷烃呈双峰态分布, 其中 HMW 正烷烃碳数分布范围为 C_{35} ~ C_{69} , 主峰碳数多在 nC_{47} , CPI 值均 ≤ 1.10 , 不具奇偶优势, 表明该高蜡凝析油属于成熟~高成熟油范畴。

在烃源岩岩心不足、常规油源研究不能确认烃源灶方位的情况下, 依据 HMW 蜡馏分正烷烃的油-油对比与原油族群划分, 结合高蜡油的平面分布状况, 运用原油物性、成熟度与含氮化合物参数示踪石油运移、充注方向, 从而确认高蜡凝析油总体上是沿板深 4 井经板深 7 井到板深 8 井一线的方向运移、充注的。因此, 千米桥古潜山油气藏的烃源灶应位于歧口凹陷的白水头方向, 而不在板桥凹陷方向。沙三段“自生自储”原油的含蜡量分布也表明, 千米桥古潜山东侧歧口凹陷港东地带原油含蜡量高, 具有高蜡油的烃源; 而西北侧板桥凹陷原油含蜡量偏低, 不具备高蜡油的烃源。因此, 应该进一步向歧口凹陷方向勘探新的古潜山“卫星油藏”。

本文的研究表明, 高温气相色谱是有机地球化学的分析测试手段, 也可以提供油源信息。原油的高分子量蜡馏分是一个值得重视的研究方向, 高蜡凝析油也是一种值得研究的特殊烃类资源。

参 考 文 献

- 1 Philp R P, Bishop A N, Del Rio J. 原油和油层中高分子量烃类($> C_{40}$)的表征. 见: Cubit J M, England W A, 主编. 油藏地球化学(王铁冠, 张枝焕译). 北京: 石油工业出版社, 1997. 84~98
- 2 Hsieh M, Philp R P. Ubiquitous occurrence of high molecular weight hydrocarbons in crude oils. *Organic Geochemistry*, 2001, 32: 955~966
- 3 Lipsky S R, Duffy M L. High temperature gas chromatography: the development of new aluminum clad flexible fused silica glass capillary columns coated with thermostable nonpolar phases. Part 1. *J of High Resolution Chromatography, Chromatography Communication*, 1986, 9: 376~382
- 4 Philp R P. High temperature gas chromatography for the analysis of fossil fuels: A review. *J of High Resolution Chromatography, Chromatography Communication*, 1994, 17: 398~406
- 5 王铁冠, 朱 丹, 卢 鸿, 等. 千米桥地区严重生物降解石油的 nC_{35} 以上正烷烃. *科学通报*, 2002, 47(14): 1103~1107
- 6 大港油田石油地质志编辑委员会. 中国石油地质志(卷四), 大港油田. 北京: 石油工业出版社, 1991. 149~153
- 7 于志海, 杨池银, 廖前进, 等. 黄骅坳陷天然气地质. 北京: 石油工业出版社, 1997. 122~145
- 8 卢 鸿, 王铁冠, 王春江, 等. 黄骅坳陷千米桥古潜山构造凝析油气藏的油源研究. *石油勘探与开发*, 2001, 28(4): 17~21
- 9 Zhang Yousheng, Wang Tieguan, Wang Feiyu. Oil source and entrapment epoch of the Mesozoic oil reservoir in the Kongxi Burial-hill Zone, Huanghua Depression, North China. *Scientia Geologica Sinica*, 2001, (4): 257~274
- 10 Wang Tieguan, Wang Feiyu, Lu Hong, et al. Oil source and entrapment epoch of the Ordovician oil reservoir in the Kongxi Burial-hill Zone, Huanghua Depression, North China. *Acta Geologica Sinica*, 2001, 75(2): 212~219
- 11 王铁冠, 李素梅, 张爱云, 等. 应用含氮化合物探讨新疆轮南油田油气运移. *地质学报*, 2000, 74(1): 85~93
- 12 England W A, Mackenzie A S, Mann D, et al. The movement and entrapment of petroleum fluids in the subsurface. *J of the Geological Society, London*, 1987, 144: 327~347
- 13 Li M, Larter S, Stoddart D. 石油运移过程中吡咯类含氮化合物的分馏作用: 有关运移地球化学参数的推论. 见: Cubit J M, England W A, 主编. 油藏地球化学(王铁冠, 张枝焕译). 北京: 石油工业出版社, 1997. 117~139
- 14 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. *石油大学学报(自然科学版)*, 2000, 24(4): 83~86