

准噶尔盆地西北缘二叠系稠油 地化特征及成因探讨

王屿涛

(新疆石油管理局勘探开发研究院, 克拉玛依 834000)

丁安娜 惠荣耀

(中国科学院兰州地质研究所, 兰州 730000)

本文通过对准噶尔盆地西北缘断裂下盘斜坡区五区南油气区二叠系乌尔禾组(P_{2w})稠油的地球化学性质的分析发现, 该稠油具有酸值低、凝固点和含蜡量较高, 烃类含正构烷烃、缺乏含氧官能团和非选择性损失等特殊性质, 与断裂上盘浅层生氧化型稠油成因明显不同。根据油气的分布和各项地化特征, 认为蒸发分馏作用是导致该区原油稠变的主要原因。

关键词 稠油 二叠系 分布规律 稠变机理 准噶尔盆地
第一作者简介 王屿涛 男 35 岁 工程师 油气地球化学

1 地质概况

五区南位于克拉玛依市东南方向约 20km。构造位置位于准噶尔盆地西北缘中拐隆起东北翼, 克一乌断裂下盘斜坡区。工区内上二叠统乌尔禾组超覆沉积在下二叠统及其它层位之上, 与上覆三叠系呈不整合接触; 该区西南以乌尔禾组剥蚀尖灭线为界, 东南以斜坡向盆地中心过渡。

五区南是近期在斜坡区发现的第一个含油气区。钻试结果表明, 位于五区南断裂上盘的克 75 井、克 77 井在上二叠统乌尔禾组获得高产天然气及少量凝析油; 而位于断裂下盘的克 76 井及气藏下倾方

向的克 001 井、克 004 井等则在乌尔禾组获工业油流; 此外, 近期在预测控制含油面积以外的克 007 井、克 78 井等亦在乌尔禾组和下二叠统佳木河组获工业油流。这一勘探成果预示着西北缘斜坡区具有良好的含油气远景。

2 稠油常规物性

五区南原油的常规物性参数列于表 1。除气藏内克 75 井和克 77 井凝析油具有很低的密度等参数外, 其它原油均具有密度、粘度、含蜡量和初馏点较高等特征。

从表 1 诸项参数中可看出五区南稠油与西北缘

表 1 五区南原油和西北缘浅层稠油常规物性参数

地区	井号	层位	井深 (m)	密度 (g/cm ³)	粘度(40℃) (mPa·s)	含蜡量 (%)	凝固点 (℃)	酸值 (mgKOH/g)	初馏点 (℃)
五区南	克 007	P _{1j}	3109~3103	0.8997	234.96	6.70	18	0.19	239.5
	克 76	P _{2w}	3028~3023	0.8915	123.63	8.29	6.0	0.09	113.5
	克 001	P _{2w}	2913~2922	0.8887	25.8	5.55	5.5	0.16	122
	克 004	P _{2w}	3195~3188	0.8820	58.91	5.60	11	0.11	124
	克 78	P _{2w}	3313~3307	0.9565	61800	1.63	15	0.16	210
	克 78	P _{2w}	3246~3255	0.9323	6872(50℃)	3.44	28	0.27	160
西北缘	风城	J ₃	100~620	0.9649	94900	2.01	12	3.16	254
	六区	J ₃	225~375	0.9341	900	2.10	-5.2	2.31	168
	九区	J ₃	128~344	0.9358	4239	2.06	-11.0	4.03	217
	四 ₂ 区	J ₃	147~745	0.8953	154	2.16	-41.0	1.49	123

稠油相比有其特殊的性质。主要表现在：(1)酸值较低。五区南稠油酸值一般分布在 0.20mgKOH/g 以下，而西北缘稠油酸值则一般大于 1.5mgKOH/g 以上。图 1 为两区稠油密度与酸值关系图，可以看

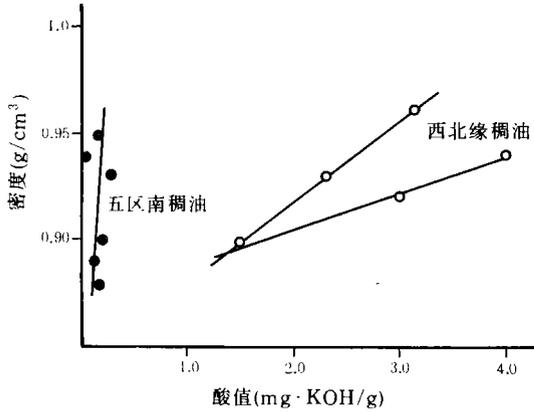


图 1 五区南稠油与西北缘稠油密度与酸值相关图

到，相同密度下，五区南稠油酸值比西北缘稠油低 1~2 个数量级；另外，五区南稠油随密度增大，酸值并不随之增大，基本为一常数，西北缘稠油随密度增大，酸值明显增加，两者呈良好的正相关关系。这一对比结果说明，五区南稠油可能并非氧化作用的结果。(2)五区南稠油含蜡量和凝固点较高，与西北缘浅层稠油相比，具有很大差异(图 2)。

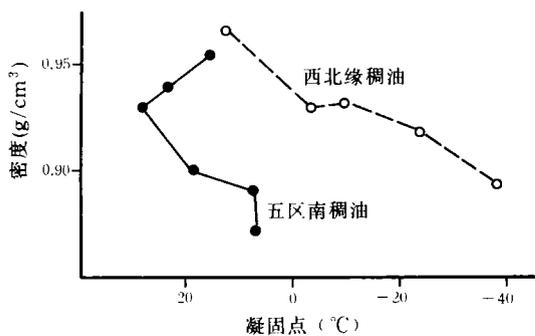


图 2 五区南稠油和西北缘稠油密度与凝固点相关图

研究表明，凝固点的高低主要受含蜡量的控制，由于蜡为石油中的主要结晶组分，含蜡量的降低必然造成石油的流动性增强；另一方面，正构石蜡烃减少后，类异戊二稀烃相对富集，这类化合物立体空间大，不易凝固，单体烃如姥鲛烷、植烷等凝固点均在

-70℃以下(B·A·普列斯库列维科夫,1982)。此外，粘度亦是影响凝固点的外在因素，通过对西北缘浅层稠油的研究发现，当粘度大于 2000mPa·s (50℃)时，凝固点随含蜡量的降低反而升高(王屿涛,1993)。

普遍认为，含蜡量降低的主要原因是由于食蜡细菌对饱和烃中正构石蜡烃选择性摄取的结果。由表 1 不难看出，五区南克 007 井、克 76 井等稠油中的含蜡量与西北缘原生油藏中稀油的含蜡量(密度为 0.83g/cm³)是基本一致的(杨斌等,1989)；而相同密度下的四₂区浅层稠油含蜡量则明显降低。这说明五区南稠油的稠变过程可能没有或很少有微生物的参与。

3 稠油地球化学性质

3.1 红外光谱特征

红外光谱是鉴定有机化合物官能团和研究分子结构强有力的手段。图 3 所示为五区南稠油和西北

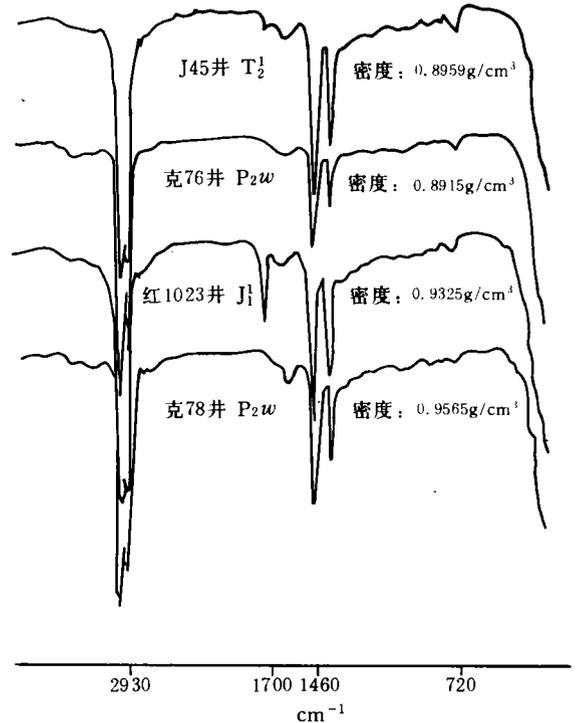


图 3 五区南稠油与西北缘稠油红外光谱图

缘浅层稠油典型样品的红外光谱图。对比样品的密度是接近一致的。可以看到，克 76 井稠油和四₂区 J45 井稠油相比，前者明显缺乏 1700cm⁻¹吸收峰(含

氧基团吸收峰)。随密度增大,如克 78 井稠油达到 0.9565g/cm³, 仍然很少有含氧官能团的存在;相反,西北缘红浅 1 井区红 1023 井稠油(密度为 0.9325g/cm³)却有强吸收。这充分说明,五区南稠油为非氧化作用的产物。

3.2 正构、异构烷烃特征

仍然选择了红外光谱中的对比样品。由图 4 和图 5 可以看出,五区南克 76 井稠油正构、异构烷烃保存较好,只是丰度有所降低;而相对密度下的 J45 井稠油正构烷烃已全部损失,色谱中残留峰主要为无环类异戊二稀烷烃和甾萜类,显然,正构烷烃是被选择性摄取了,克 78 井稠油密度增至 0.9565g/cm³, 但仍有少量碳数分布较完整的正构烷烃保存下来,另外,γ、β 胡萝卜烷保存完好,未受到任何影响;而西北缘红 1023 井稠油色谱图上,正、异构烷烃不仅遭受了严重降解,γ、β 胡萝卜烷也已不复存在。可见,生物降解作用已经到了相当严重的程度。

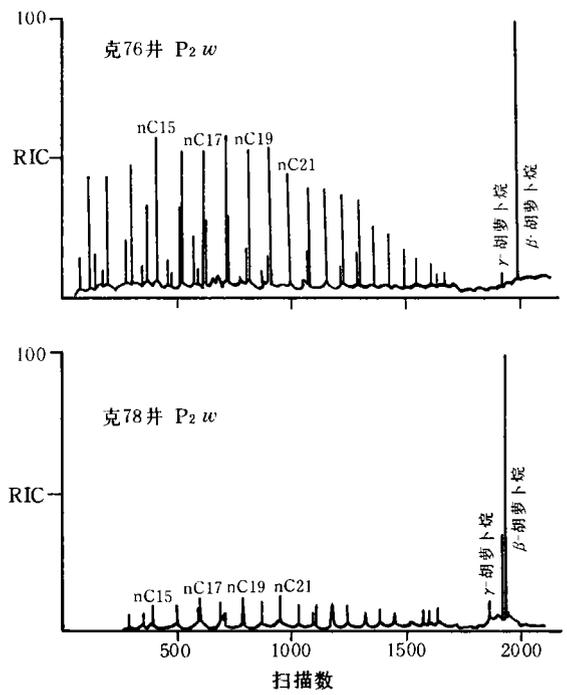


图 4 五区南稠油饱和烃色谱图

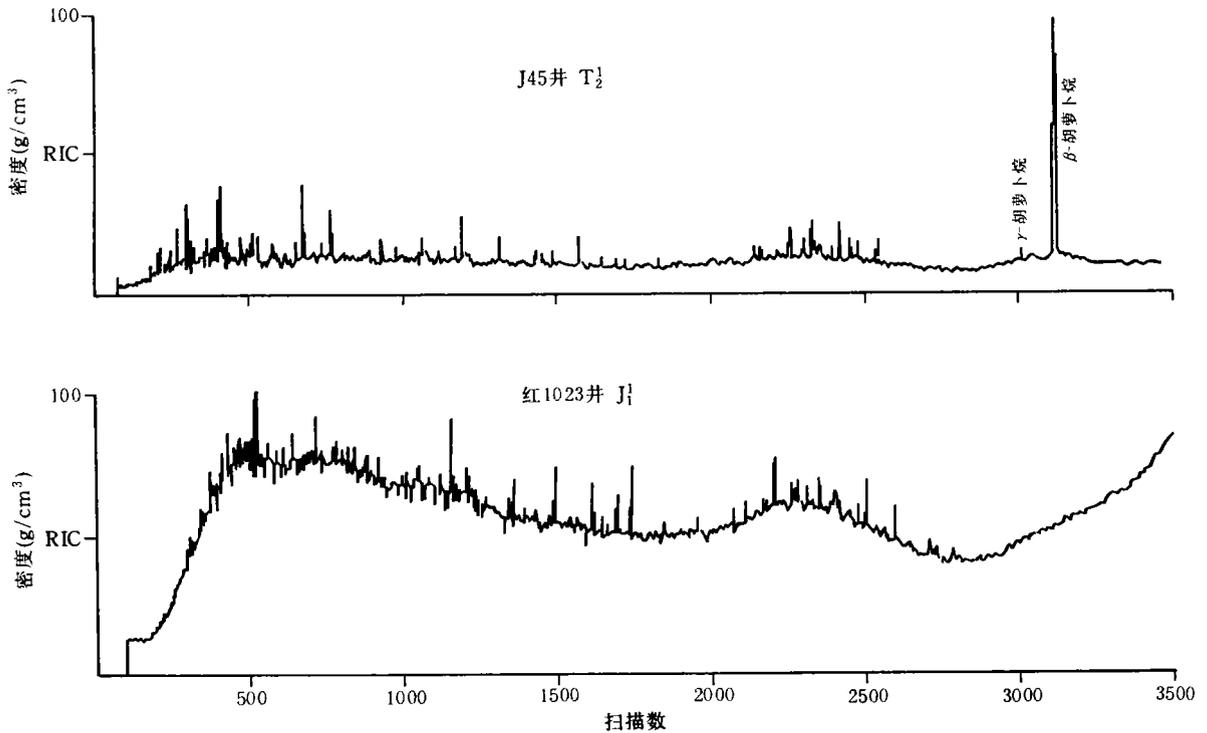


图 5 西北缘稠油饱和烃色谱图

上述对比特征表明,五区南稠油烃类的损失是非选择性的,且随稠变程度的增加,正构烷烃和类异戊二稀烷烃是同时丢失的。正如图 6 所示,随稠油密度增加,Pr/nC₁₇ 比值不变;西北缘稠油则不同,即随

密度增加,正构烷烃被选择性摄取,类异戊二稀烷烃则相对富集,Pr/nC₁₇ 逐渐增大。

3.3 生物标志特征

五区南稠油和西北缘浅层稠油生物标志物参数

列于表 2。从生源的意义来看,这些稠油具有较一致的特征。萜烷类组成中,三环萜烷含量很高,一般都超过 50%以上,表明低等生物和湖生藻类的重要贡献;另外,均具有一定丰度的伽马蜡烷,这是目前唯一在原生动物体中发现的五环三萜烷,大量存在于咸化环境和膏盐地层中。

甾烷类组成也较为一致,只是在生物降解较严重的样品中,妊甾烷的丰度明显增加,如红 1023 井稠油,表明这类化合物的抗降解能力很强。五区南稠油则缺乏这种变化。三类规则甾烷的指纹也具有较好的一致性,从 C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 相对含量来看,其生源组成主要为湖相混合型有机质。

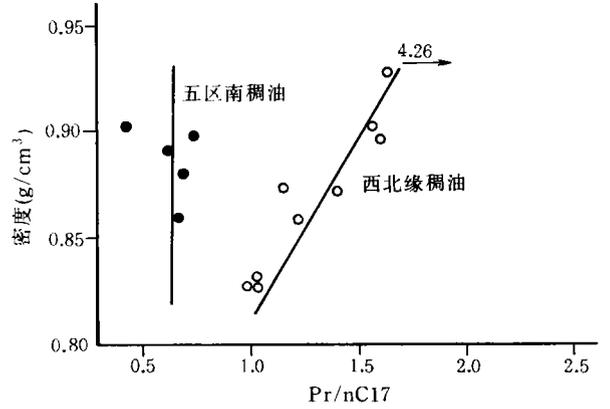


图 6 五区南稠油和西北缘稠油密度与 Pr/nC₁₇ 相关图

表 2 五区南稠油和西北缘浅层稠油生物标志物化合物参数

地区	井号	层位	井深	萜烷(%)			甾烷(%)			规则甾烷(%)			$\frac{C_{29-\alpha\alpha}}{20S+20R}$	$\frac{C_{29-\alpha\beta}}{\Sigma C_{29}}$
				三环萜烷	藿烷	伽马蜡烷	妊甾烷	重排甾烷	规则甾烷	C_{27}	C_{28}	C_{29}		
五区南	克 007	P _{1j}	3903~3909	53.43	41.02	5.49	5.48	13.55	80.97	11.70	42.46	45.84	0.40	0.45
	克 76	P _{2zw}	3028~3023	57.00	39.23	3.77	4.63	10.11	85.26	20.94	38.22	40.84	0.43	0.50
	克 001	P _{2zw}	2913~2922	58.03	38.45	3.52	8.39	16.43	75.18	20.00	40.95	39.05	0.43	0.46
	克 004	P _{2zw}	3195~3188	69.16	27.71	3.13	11.45	13.68	74.87	11.45	43.11	45.44	0.45	0.50
	克 78	P _{2zw}	3317~3311	54.75	41.03	4.22	4.93	25.75	69.31	19.30	45.40	35.30	0.44	0.31
	克 78	P _{2zw}	3264~3255	47.47	47.74	4.79	8.32	17.29	74.39	20.11	42.63	37.26	0.37	0.37
西北缘	重 29	J ₁	100~165	50.05	45.00	4.95	9.54	17.51	72.95	8.52	42.50	48.89	0.45	0.56
	93324	J ₁	212~198	53.60	43.02	3.38	36.10	17.54	46.36	27.76	43.20	29.04		
	94247	J ₁	200.5~185	56.22	40.85	2.92	18.16	19.27	62.57	16.09	40.38	43.53		
	60021	J ₁	255~224	61.84	34.85	3.30	19.03	12.70	68.27	9.74	40.87	49.40	0.51	0.61
	J45	T ₁	273.8~336.61	54.64	42.28	3.07	7.15	6.19	86.65	8.24	40.74	51.02	0.42	0.61
	J129	T ₁	412.8~456.8	58.39	38.65	3.56	6.79	12.86	80.35	10.35	40.05	49.60	0.42	0.57
	红 21023	J ₁	568~595	56.90	39.91	3.19	61.42	12.96	25.62	11.62	46.89	41.49		
红浅 1	J ₁	487~457.5	61.53	35.44	3.03	12.37	16.87	70.76	9.11	41.97	48.93	0.45	0.57	

4 成因探讨

4.1 油气的分布规律

五区南油气藏中既有天然气又有凝析油,既有稠油又有稀油。根据目前的试油气成果及流体资料,这些油气的分布具有明显的规律性。由图 7 可以看

到,气藏位于油藏上倾方向,靠近气藏的为稠油油藏,稠油油藏之下为稀油油藏,在平面上形成由构造高部位向低部位依次为天然气藏—稠油油藏—稀油油藏的分布格局。另外,垂向上的分布也具有规律性,即下部储层原油性质较稠,上部储层原油性质较稀,如克 001 井下部高阻层比上部低阻层原质要稠;克 78 井下部高阻层比上部高阻层原质要稠。

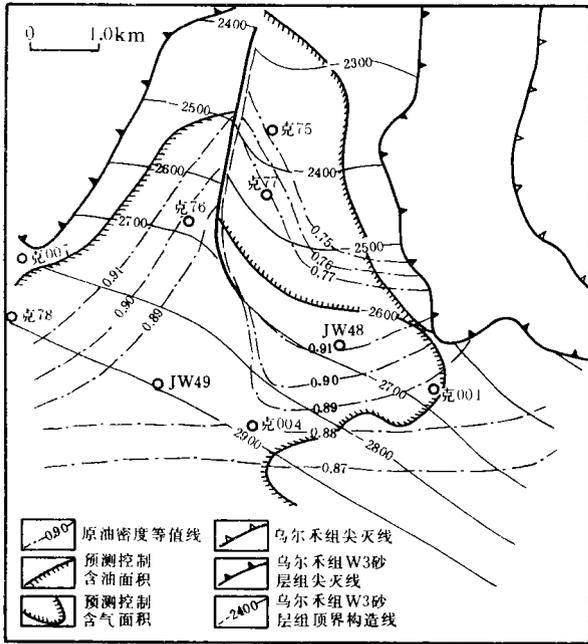


图 7 五区南二叠系乌尔禾组 W3 砂层组原油性质分布图

该区在沉积上的特征为，乌尔禾组储集层主要属冲积扇扇顶沉积，油气藏类型属于地层—岩性油气藏，油气水的分布严格受扇体的控制。扇体的顶端是最高的部位，在具有良好的封闭条件时，可以形成天然气的聚集；气顶/气藏之下为油藏；地层水主要集中在扇体—扇体之间的扇间部位，这些认识都已得到试油结果的证实。同时研究还表明，这种冲积扇体具有独自成藏、自成体系的特点。克 78 井正是由于处在另一独立的扇体上，因而原油性质缺乏平面上的规律性。

4.2 成因机制

上面详述了五区南稠油特殊的物理、化学性质及油气的分布规律，我们认为，蒸发分馏作用可能是造成原油稠变及控制油气分布的主要因素。

所谓蒸发分馏作用 (evaporative fractionation)，指的是天然气进入油藏，在高温、高压下，溶解于原油的轻馏份沿断裂、不整合面、孔隙介质等运移通道携至条件适宜的低压储层成藏的过程。

原油的蒸发分馏作用是一个气液相物化平衡过

程。原油中低分子烃脱离液相进入天然气的速度及天然气溶解轻烃的能力，同分子量、结构、极性、及天然气的量、干湿度和储层的温度、压力有关，根据气液相平衡原理，油气系统中低分子量、极性小的轻烃分子优先进入天然气中。原生或次生油藏都有可能多次经受蒸发分馏作用，从而形成物性、地化特征既有相似性、又有差异性的稠油、正常原油、凝析油、天然气系列于储集体三维空间共生的格局。

据报道，美国海岸第三系大部分原油都经受了程度不一的蒸发分馏作用的改造 (Thompson, 1988)。最近在我国塔里木盆地也发现有原油蒸发分馏作用的存在^①。

五区南具备原油发生蒸发分馏作用的地质、地化特征和条件：

(1) 天然气和原油具明显的成熟度及母质类型差异。天然气甲烷 $\delta^{13}C$ 值为 -32% 左右，轻烃 C_7 组成中富集甲基环己烷，贫二甲基环戊烷，为腐殖型气；原油 $\delta^{13}C$ 值为 -30% 左右，生源物由湖相有机质组成。天然气具高成熟特征，异庚烷值达 5.0 左右，推测源岩成熟度 R^o 在 1.50 左右；原油则具有成熟特征；异庚烷值为 2.0 左右。显然油气是异源的，且根据天然气形成的动平衡原理，天然气是于原油之后进入油储的。

(2) 天然气—凝析油—原油具明显的混染特征。天然气碳同位素系列均在丁烷处发生倒转，即 $\delta^{13}C_1 < \delta^{13}C_2 < \delta^{13}C_3 > \delta^{13}C_4$ ，这种现象未见于西北缘其它天然气中。据研究，甲烷同系物碳同位素组成系列倒转或部分倒转是煤型气与油型气相混或由不同成熟度气相混所造成^②。另外，天然气生物标志物组成中也反映了部分与原油相一致的特征。通过对天然气、凝析油、原油轻烃单体烃的相关分析，凝析油恰处于天然气和原油之间，可见，相互的混染是十分明显的。

(3) 油气来自不同的烃源层。根据烃源对比和油气运移研究，原油来自上二叠统成熟的湖相混合型有机质，由凹陷沿不整合面经倒向运移进入该区储集体；天然气则来自该区下二叠统佳木河组高成熟的腐殖型有机质，经垂向运移进入上覆乌尔禾组储集体。

(4) 稠油具有特殊的物理、化学性质。用传统的

① 胡伯良等. 塔里木盆地海相油气成因的地球化学研究. 1992

② 戴金星等. 我国天然气的成因及地球化学研究. 1989

稠变机理是难以解释的。

由此分析可以认为,蒸发分馏作用可能是解释这些现象的唯一机理。在此作用过程中,由佳木河组生成的高成熟腐殖型天然气通过垂向运移进入上覆具良好储集条件的乌尔禾组,与先期聚集的异源原油相遇,并对原油抽滤后携带轻组分向低压区(扇顶)运移,将已聚集的原油向下倾方向驱替;当上覆乌尔禾组缺乏储集条件时,天然气便在佳木河组内部储集起来,形成象克007井等佳木河组气藏。

另外,该区原油遭受蒸发分馏作用的强度是不同的。平面上接近气藏部位的原油遭受蒸发分馏作用最强烈;垂向上则接近气源的原油遭受的蒸发分馏作用最强烈。其结果就会造成离气藏由近至远,原油性质由稠变稀;纵向上则下部原油稠于上部原油。五区南油气的分布格局及原油性质的变化规律与此分析是吻合的。

5 结束语

蒸发分馏作用,作为解释特殊油气藏的形成及原油的稠变无疑是一可行的机理。以往在讨论稠油

成因时,勘探地质学家特别是地球化学家首先考虑的是次生氧化和生物降解作用;开发地质学家则首先考虑的是水洗或水溶作用。而很少考虑储层温压条件及物理、化学作用。事实上,聚集于储层中的稠油是在经历了漫长的地质历史时期各种原生、次生作用的综合结果,因此,只有全面地、综合地研究稠油的各项物理、化学性质,并结合油气的分布及局部的、区域的地质背景,才能提出合理的成因机理。

参 考 文 献

- 1 B. A. 普罗斯库列维科夫等. 石油与天然气化学. 北京: 烃加工出版社, 1982. 99~110
- 2 王屿涛. 准噶尔盆地西北缘稠油特性及成因. 新疆石油地质, 1993(2): 133~139
- 3 杨斌等. 准噶尔盆地油气生成与运移. 中国含油气盆地烃源岩评价. 北京: 石油工业出版社, 1989. 484~499
- 4 Thompson K F M. *Marine and Petroleum Geology*. 1988. 5. August, 237~245

(收稿日期: 1996年2月27日)

DISCUSSION ON THE GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND GENESES OF PERMIAN VISCOUS OILS AT THE NORTHWESTERN EDGE OF JUNGGAR BASIN

Wang Yutao

(*Institute of Exploration and Development*)

Hui Rongyao

(*Xinjiang Bureau of Petroleum Administration*)

Abstract

By analysing the geochemical characteristics of viscous oils from Permian Wuerhe Formation (Pzw) in the southern oil/gas region of V zone within faulted footwall slope area at the northwestern edge of Junggar Basin, it is discovered that the viscous oils have the special properties of low acidity, higher solidifying point and waxy content, alkane-bearing hydrocarbons, oxygen-bearing functional group lacking, unselective losses etc. and have obviously different geneses from secondary oxidized viscous oils in faulted upper plates. Based on the distribution and each geochemical character of hydrocarbons, it is considered that evapofractionation is the major reason to bring about the consistency changes of crude oils in this area.