

# 泌阳盆地西北坡重油特征 及其成因初探

汪本善 张丽洁 邢福健 麦碧娴 李汉城

(中国科学院地球化学所广州分部)

马万怡 朱照璧

(河南石油勘探局石油勘探开发研究院)

程克明 苏艾国

(石油天然气总公司石油勘探开发科学研究院)

**提要** 基于对泌阳盆地西北坡重油的物性特征及生物标志化合物类型、分布及其各种参数的详细研究,提出该重油是次生降解(包括氧化降解及生物降解)的观点,通过西北坡重油与盆地中有代表性的正常原油对比和西北坡重油与当地核三下段生油岩的对比,否定了当地生油岩(未成熟)作为重油主要源岩的可能性,提出重油与盆地中南部原油同源,在向西北坡运移及在该区浅层储集层的聚集和保存过程中,受到次生降解作用所形成的结论。

**关键词** 泌阳凹陷 正常原油 生物降解 重油

**第一作者简介** 汪本善 男 57岁 研究员 沉积学及有机地球化学

重油的成因和评价是引起国内外石油地质及地球化学家关注的热点(Curiale J.A., 1986; Dahl B. et al 1986)<sup>1</sup>,泌阳盆地重油储层占该盆地石油资源的一定比例,特别是盆地西、北周边分布广、规模大,有较高的工业价值。查明其来源及形成过程,在理论和实践上都有重要意义。据研究<sup>2,3</sup>,泌阳盆地的沉降中心及沉积中心均在盆地中心偏南的深凹部位,沉积了厚达9000m的第三系,其中,下第三系核桃园组(E<sub>n</sub>)是主要生油层段。主力生油层有Eh<sub>3</sub><sup>上</sup>和Eh<sub>3</sub><sup>下</sup>。西北坡重油分布在埋深300—850m的Eh<sub>3</sub>下段地层中。为探讨重油的成因,作者从盆地西北边沿向中心方向,对BQ10井和B125井重油与生油岩、B124—2井重油砂,以及盆地中一些有代表性的正常原油(B86、S4062、S4209、S5—10及W—4

<sup>1</sup>黄第藩、李晋超等,1985,准噶尔盆地上古生界油源岩的地球化学,(石油工业部石油勘探开发科学研究院地质所内部资料)。

<sup>2</sup>河南石油勘探局勘探开发研究院,河南油田开发研究报告集,(第一集),1987。

<sup>3</sup>河南石油勘探局勘探开发研究报告集,(第二集),1988。

等井原油)进行了研究和对比。

## 一、西北坡重油的基本特征

### (一) 重油物性及其与正常原油的对比

原油物性是其化学组成的综合反映,不同类型原油都有其自身的特点。表1列出了研究样品的物性资料。

表1 泌阳盆地西北坡重油及盆地中正常原油物性对照表

Table 1 Comparison of physical properties between heavy oil of NW slope and normal crude oil of centre part in Biyang basin.

类型	产出位置、井号及采样井段		比重	动力	粘度	沥青质 +	含蜡	含硫	含盐	凝固点	初馏点
				70℃	50℃						
重油	西北坡	B124-2(826-836m)	0.9391	284.81	1211.35	34.41	14.89	0.21	184	22	169
		B125(547-561m)	0.9431	297.84	1087.82	36.68	8.10	0.25	57	7	189
		BQ10(306-322m)	0.9738	1686.04	9398.24	41.73	4.81	0.21	1013	24	-
正常原油	盆地内	B86(2195-2204m)	0.8695	14.66	-	17.50	36.00	0.12	28	44	106
		S4062(1450-1485m)	0.8686	1057	-	15.91	40.04	0.11	77	41	91
		S4209(1748-1756m)	0.8721	14.02	35.29	19.43	39.36	0.13	645	40	101
		S5-10(1835-1946m)	0.8699	4.42	7.24	10.63	21.28	0.06	57	24	85
		W-4(1450-1461m)	0.8837	35.03	-	23.33	37.77	0.28	1186	36	154

从表中可以看出:正常原油具有高蜡、高凝固点、低硫的典型陆相原油特征,与重油相比除比重悬殊外,尚有下列差别:

1.粘度 正常原油粘度较小,其70℃动力粘度均在40毫帕秒以下,而重油则在280毫帕秒以上,且有随比重增加而增大之势;

2.胶质+沥青质含量 正常原油大都低于20%,而重油则普遍高于34%,亦有随比重增加而增高之势;

3.含蜡量 正常原油含蜡量较高,除S5-10井外均在36%以上,而重油中则不足15%,呈现出随比重增加而减小之势;

4.凝固点 除S5-10井外,正常原油的凝固点都较高(>36℃),而重油则不超过24℃。

基于物性特征还可将正常原油划分为二类:①以B86、S4029为代表,主要分布在盆地中南部赵凹—双河一带,其上述四项指标与重油形成十分明显的对照;②S5-10与W-4在物性上间或呈现出由盆地中南部原油向重油过渡的现象,这类原油主要分布在盆地西部和北部,常与重油为邻。从重油比重随距盆地边缘距离的缩小和产出深度的减少而增高的事实,以及随着比重增加,重油中重杂原子化合物增多、含蜡量降低等趋势,显示出一定的氧化及

菌解迹象。

(二) 重油的分子化合物特征

1. 饱和烃的一般特征

西北坡重油饱和烃色谱图有极好的相似性 (图 1)，其正烷烃和异戊间二烯烷烃含量都很低，环烷烃相对较高，谱图基线呈现出相似性好而分辨率差的鼓包。根据特定质量色谱图的质量强度与重建离子流 (RIC) 强度之比，分别计算出三个重油样品中正烷烃和环烷烃的相对含量 (表 2)。表 2 中还列出了该样品环烷烃分布的主要特征。从表 2 中可以看出：

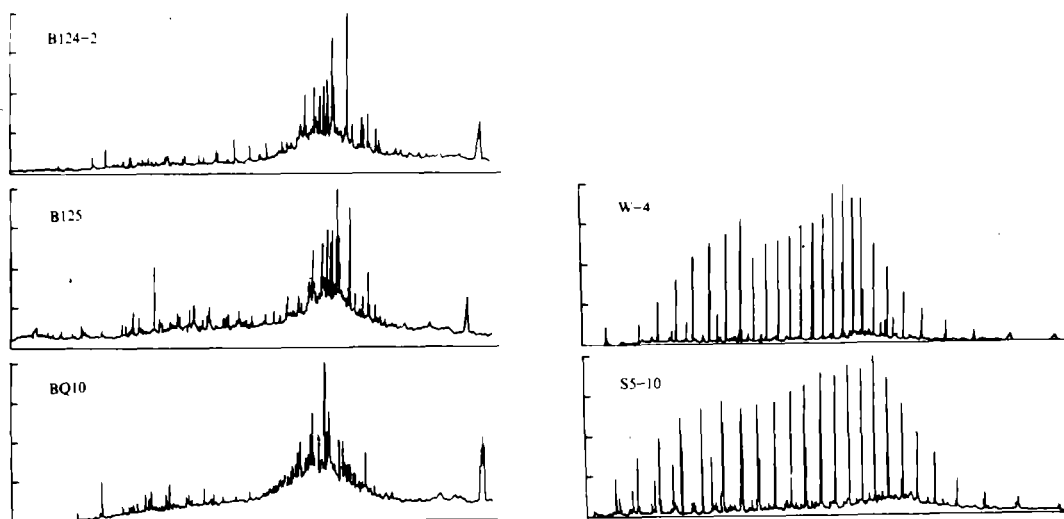


图 1 泌阳凹陷西北坡重油 RIC 特征及其与正常原油 RIC 的对比

Fig. 1 Comparison of the RIC of saturated hydrocarbons between the normal crude oils and the heavy oils of NW slope in Biyang basin.

表 2 泌阳盆地西北坡重油中饱和烃的组成特征

Table 2 Component features of saturated hydrocarbons of heavy oils in NW slope of Biyang basin

采样井位	正烷烃含量 (%)	环烷烃含量 (%)		萜烷的主要特征	特殊萜烷分布	
		总量	其中甾 / 萜比值		$\gamma$ -蜡烷 / $C_{30}$ 藿烷	$\beta$ -胡萝卜烷 / $C_{30}$ 藿烷
B124-2	1.43	15.89	0.37	以五环三萜与三环萜为主	0.42	0.72
B125	3.41	14.53	0.48	同上	0.88	1.32
BQ10	2.24	9.16	0.41	同上	1.04	5.60

(1) 正烷烃含量仅 1.43—3.41%，而环烷烃却高达 9.16—15.89%。

(2) 甾/萜比为 0.37—0.48，这对陆相原油来说，显然发生了萜烷的损耗；

(3) 萜烷中虽然由倍半萜到五环三萜烷均有分布，但以五环三萜和三环萜为主，其它萜烷含量较少；

(4)  $\gamma$ -蜡烷与  $\beta$ -胡萝卜烷含量与同一样品  $C_{30}$  藿烷含量之比值均随重油比重增大而增大。但  $\beta$ -胡萝卜烷/ $C_{30}$  藿烷比值增大的速度更快。

## 2. 五环三萜烷特征

从本区重油中检出 27 种五环三萜类化合物。其中除了常见的  $C_{27}$ 、 $C_{29}$ — $C_{30}$  藿烷系列和高含量的  $\gamma$ -蜡烷及少量但可检出的奥利烷外，还发现有高含量的  $\alpha\beta$ -25-降藿烷、 $17\beta$ -28 降羽扇烷和  $17\beta$ -23、28 双降羽扇烷（主要出现在 BQ10 井重油中），这些都是原油次生降解到一定程度的典型产物，进一步佐证了前面提出的本区重油的形成与氧化及生物降解作用有关的论点。

鉴于正烷烃含量甚少，环烷烃不仅量大，而且彼此变化显著，故本文着重对后者从分子级水平进行研究和讨论。

表 3 列出了重油中藿烷参数计算结果。从该表中可以看出：三个重油的成熟度都比较高（莫/藿比很小，高藿烷 22S/22(S+R) 比较大），高藿烷分布都属同一种（递减）类型。但 BQ10 中可能由于部分  $C_{30}$  藿烷降解生成  $\alpha\beta$ -25-降藿烷而减少，造成与另二个样品在  $C_{29}/C_{30}$  藿烷比值上存在着差别。如果考虑将  $\alpha\beta$ -25-降藿烷还原为  $C_{30}$  藿烷（按  $C_{29}\alpha\beta + \alpha\beta$ -25-降藿烷）计算，则比值将由 1.063 降为 0.485，与另两个样品相近，由此可见，三个重油样品的藿烷参数有很大的相似性。

表 3 泌阳盆地西北坡重油中藿烷参数一览表

Table 3 Schedule of hopane parameters of heavy oils in NW of Biyang basin

采样 井位	分 布 特 征		莫 烷 / 藿 烷 比 值	
	$C_{29}\alpha\beta / C_{30}\alpha\beta$	高藿烷分布	$C_{29} -$	$C_{30} -$
			$C_{31} \frac{22S}{22(S+R)}$	
B124-2	0.419	$C_{31} > C_{32} \cdots C_{35}$	0.064	0.121
B125	0.385	$C_{31} > C_{32} \cdots C_{36}$	0.06	0.123
BQ10	1.063	$C_{31} > C_{32} \cdots C_{34}$	0.07	0.21

## 3. 甾烷特征

三个重油中均以胆甾烷为主，其次是 4-甲基甾烷和重排甾烷，除此之外，只有痕量—痕量的妊甾烷。胆甾烷由  $C_{27}$ — $C_{29}$  系列的各种异构体组成，除了 BQ10 在生物降解作用下， $\beta\beta$  构型发生一定的变化外，三个样品的  $\alpha\alpha\alpha$ -2OR 具有十分相似分布特征。表 4 列出了它们的甾烷参数。

表中不仅显示出甾烷分布相同而且其成熟度指标也很接近。基于上述甾烷分布及各种参数的一致性可以判断西北坡重油系来自同一油源，在地史上遭受到相当程度的次生降解，较严重地消耗了链烷烃而相对浓集了环状化合物。根据各种生物标志物参数推断，该原油已

经进入成熟阶段。

表 4 泌阳盆地西北坡重油中甾烷参数一览表

Table 4 Schedule of Sterane parameters of heavy oils in NW slope of Biyang basin

采样 井位	$\alpha\alpha$ -2OR 甾烷 分布特征	$C_{29} \frac{20S}{20(S+R)}$	$C_{29} \frac{\beta\beta}{\alpha\alpha+\beta\beta}$
B124-2	$C_{29} > C_{28} = C_{27}$	0.372	0.304
B125	$C_{29} > C_{28} = C_{27}$	0.327	0.355
BQ10	$C_{29} > C_{28} \sim C_{27}$	0.405	0.391

## 二、重油的油源及成因探讨

### (一) 重油产区核桃园组不是重油的油源层

西北坡核桃园组只存在  $Eh_3$  下段地层，为进行重油与当地生油层的亲缘关系对比，作者系统研究了 B125 井 (530m) 和 BQ10 井 (507m) 生油岩样品，该样品具有以下特征：

#### 1、有机质丰度和类型较佳

二个典型样品的有机地球化学分析结果表明，其有机碳含量为 0.99—1.58%，抽提液<sup>44</sup>含量 854—1962ppm，总烃含量为 390—1256ppm，有机质类型均属于 II a 型，与国内通用的划分生油岩等级的标准相比，应属于“好的”或“较好的”生油岩。

#### 2、有机质成熟度甚低

二个典型样品的烷烃色谱参数列入表 5。从表中不难看出：①碳数分布范围宽，但以重组分为主，正烷烃轻/重比仅 0.2—0.3；②有非常强的植烷优势，其 Pr/Ph 仅 0.17；③正烷烃中  $nC_{22}$  异常高，反映了特定的生源输入；④具有明显的偶奇优势，其 OEP 值分别为 0.66 和 0.72；⑤低碳数异戊二烯烷烃含量很低， $iC_{13}^- / (Pr+Ph)$  仅 7%；⑥二个样品均含有明显的  $\beta$ -胡萝卜烷。上述特征表明  $Eh_3$  下段的物源输入除了外来高等植物外，还有湖内生长的藻类和低等生物，在沉积过程中一直处于对有机质保存有利的较强还原环境和有一定盐度的水介质中，埋藏后所遭受的热作用较弱。

表 5 泌阳盆地西北坡  $Eh_3^1$  生油岩烷烃色谱参数一览表

Table 5 Parameters of stringth branch alkanes of  $Eh_3^1$  source roch in NW slope of Biyang basin.

样 号	正 烷 烃 参 数					异 戊 二 烯 烷 烃 参 数						
	碳 数 范 围	主 峰 碳	$\frac{nC_{21}^-}{nC_{22}^+}$	OEP	异 常 碳	碳数分布及含量			$\frac{iC_{18}^-}{Pr+Ph}$	$\frac{Pr}{Ph}$	$\frac{Pr}{nC_{17}}$	$\frac{Ph}{nC_{18}}$
B03	$nC_{13-36}$	22.24	0.303	0.66	22 特高	1			4	7	25	144
B62'	$nC_{13-37}$	22.28	0.213	0.72	22 特高	3			4	8	27	163

根据 GC-MS 分析, 样品中除含有常见的藜烷、甾烷和  $\beta$ -胡萝卜素外, 还首次在国内检出  $C_{30}$ - $C_{32}$  羊毛甾烷系列及  $C_{30}$  羊毛甾烯(张丽洁等,1990)。在对羊毛甾烯和羊毛甾烷的热模拟实验中查明该化合物在生油门限之前就已消失。此外, 在五环三藜烷系列中还检测出  $C_{29}$ - $C_{32}$  的生物藜烷系列 (图 2)。这些事实都表明本区  $Eh_3^F$  生油岩的成熟度甚低, 尚未达到生油阶段。

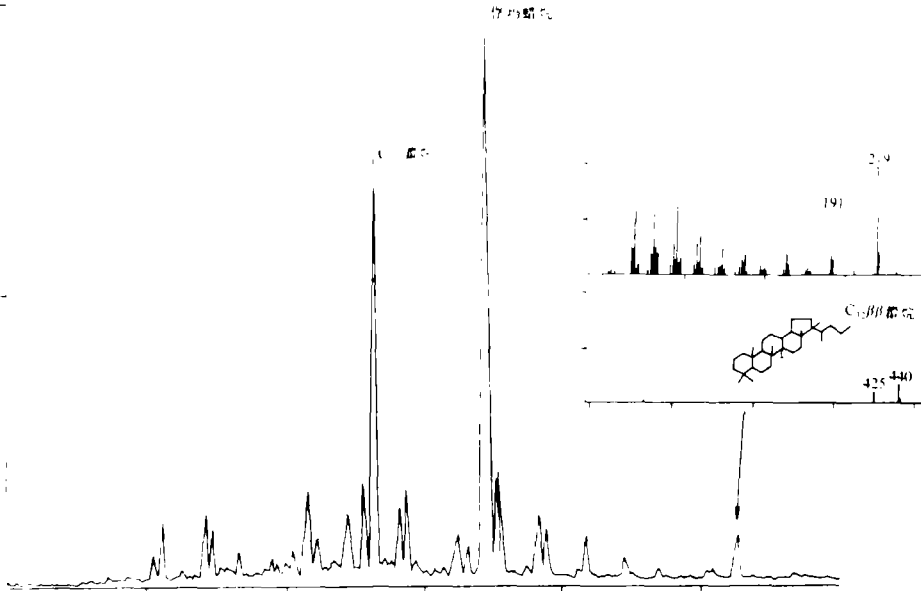


图 2 BQ10 井  $Eh_3^F$  生油岩中的生物藜烷分布

Fig.2 Distribution of 17β(H), 21β(H)-hopanes of the  $Eh_3^F$  Formation in BQ10 well

表 6 泌阳盆地西北坡  $Eh_3^F$  生油岩甾、藜参数一览表

Table 6 Schedule of sterane and triterpane parameters of  $Eh_3^F$  source rock in NW slope of Biyang basin

样号	环烷烃占饱和烃量 (%)	甾藜比值	藜烷参数				甾烷参数		
			$\frac{C_{29} \alpha \beta}{C_{30} \alpha \beta}$	$\frac{\beta \alpha \cdot \alpha \beta}{C_{29} \quad C_{30}}$	$\frac{\beta \beta \cdot C_{30} \alpha \beta}{C_{31} \quad C_{32}}$	$\alpha \alpha \alpha - 20R$	$\frac{20S}{20(S+R)}$	$\frac{\beta \beta}{\alpha \alpha + \beta \beta}$	
B03	2.07	1.69	0.301	0.462 0.188	0.323 0.258	$C_{29} > C_{27} = C_{28}$	0.034	0.16	
B62	8.65	1.23	?	? ?	0.041 0.131	$C_{29} > C_{28} - C_{27}$	0.032	-	

$\frac{20S}{20(S+R)} = \text{甾烷 } C_{29} - 20S / 20(S+R)$

$\frac{\beta \beta}{\alpha \alpha + \beta \beta} = \text{甾烷 } C_{29} - \beta \beta / (\alpha \alpha + \beta \beta)$

表6中列出的各种烷烃参数也再次证实其成熟度很低，与已成熟的重油甾萜参数毫无可比性（参看表3、4），而且甾/萜比差别很大（重油中为0.37—0.48，此外为1.23—1.69）。基于上述事实判断，二者不可能有亲缘关系。

### (二)重油很可能来自盆地中南部 $Eh_3^+$ 生油层

表7列出了重油与盆地中有代表性的正常原油甾萜参数。按甾/萜、 $\gamma$ -蜡烷/ $C_{30}$ 藿烷和 $\beta$ -胡萝卜烷/ $C_{30}$ 藿烷等比值的差异，可以把表7中的样品分为三类：

表7 重油及正常原油环烷烃参数对照表

Table 7 Comparison of cycloalkane between heavy oils and normal crude oils

类	油样号	甾/萜 比值	藿烷参数			甾烷参数		$\frac{\gamma\text{-蜡烷}}{C_{30}\alpha\beta}$	$\frac{\beta\text{-胡萝卜烷}}{C_{30}\alpha\beta}$
			$\frac{\beta\alpha/x\beta}{C_{29}C_{30}}$	$\frac{22S^1}{22(S+R)}$	$\frac{20S^2}{20(S+R)}$	$\frac{\beta\beta^3}{\alpha\alpha+\beta\beta}$			
型	(井号)	比值							
重油	B1242	0.37	0.064	0.121	0.591	0.372	0.304	0.419	0.718
	B125	0.48	0.060	0.123	0.591	0.327	0.355	0.830	1.320
	BQ10	0.41	0.070	0.210	0.609	0.405	0.391	1.039	5.600
原油	B86	0.09	0.053	0.071	0.604	0.430	0.328	0.239	0.405
	S4062	0.12	0.064	0.066	0.618	0.444	0.333	0.342	-
	S4209	0.13	0.066	0.070	0.558	0.380	0.311	0.222	0.526
	S5-10	0.29	0.035	0.071	0.607	0.516	0.408	0.880	-
	W-4	0.11	0.092	0.078	0.621	0.380	0.245	0.314	0.300

1:  $22S/22(S+R) = \text{藿烷 } C_{31-\alpha\beta} - 22S/22(S+R)$

2:  $20S/20(S+R) = \text{甾烷 } C_{29} - 20S/20(S+R)$

3:  $\beta\beta/(x\alpha+\beta\beta) = \text{甾烷 } C_{29} - \beta\beta/(x\alpha+\beta\beta)$

(1) 甾/萜 = 0.37—0.48,  $\gamma$ -蜡烷/ $C_{30}$ 藿烷 = 0.42—1.04,  $\beta$ -胡萝卜烷/ $C_{30}$ 藿烷 = 0.72—5.6 为一类，正好落入重油区范围。

(2) 甾/萜 = 0.29,  $\gamma$ -蜡烷/ $C_{30}$ 藿烷 = 0.88 为一类，S5-10原油属于这一类。

(3) 甾/萜变动于 7.35—10.60 之间,  $\gamma$ -蜡烷/ $C_{30}$ 藿烷 = 0.22—0.34,  $\beta$ -胡萝卜烷/ $C_{30}$ 藿烷 = 0.41—0.53 为一类，B86, S4209 与 S4062 井原油属于该类。W-4 井原油除  $\beta$ -胡萝卜烷/ $C_{30}$ 藿烷略低（仅 0.3）外，其它指标相同，故也划入此类。

这三类油样在指标上的差异可归因于：

(1) 甾/萜比值的变化，主要是运移分馏效应。因甾烷比萜烷（主要指五环三萜烷）有更大的运移能力，在较长距离的运移过程中，可以形成按运移距离的分异。

(2)  $\gamma$ -蜡烷 /  $C_{30}$  藿烷和  $\beta$ -胡萝卜烷 /  $C_{30}$  藿烷值的变化, 反映了次生降解作用的影响。从重油本身的变化可清楚地看出, 随着分布位置愈接近盆地边沿, 重油比重愈大,  $\gamma$ -蜡烷 /  $C_{30}$  藿烷和  $\beta$ -胡萝卜烷 /  $C_{30}$  藿烷比值也愈大。鉴于前已述及的三个重油系属同一来源, 应有相同的  $\gamma$ -蜡烷和  $\beta$ -胡萝卜烷的丰度。其向盆地边沿出现递增现象, 只能认为是  $C_{30}$  藿烷逐渐降解消耗所致。基于上述解释, 可以认为 (2) 和 (3) 类彼此是异源的, 因为它们的  $\gamma$ -蜡烷 /  $C_{30}$  藿烷和  $\beta$ -胡萝卜烷 /  $C_{30}$  藿烷值相互矛盾, 不可能是次生降解形成的差异, 只能是原始母质不同所产生的结果。

按藿烷和甾烷的成熟度指标也可把表 7 中的样品分为三类。

(1) 重油及 B86、S4062 和 S4209 属同一类, 其特点是藿烷  $C_{29}-\beta\alpha / \alpha\beta$  值变动于 0.053—0.070 之间, 平均在 0.063 左右; 甾烷  $C_{29}-20S / 20(S+R)$  值变动于 32.7%—44.4%, 平均在 39.3% 左右; 甾烷  $C_{29}\beta\beta / (\alpha\alpha+\beta\beta)$  值变动于 30.4%—39.1% 之间, 平均在 33.7% 左右。

(2) S5-10 属另一类, 其藿烷  $C_{29} / \beta\alpha$   $\alpha\beta$  值为 0.035; 甾烷  $C_{29}-20S / 20(S+R)$  值为 51.6%; 甾烷  $C_{29}\beta\beta / (\alpha\alpha+\beta\beta)$  值为 40.8%。

(3) W-4 井为第三类, 其藿烷  $C_{29}\beta\alpha / \alpha\beta$  比值为 0.092; 甾烷  $C_{29}-20S / 20(S+R)$  比值为 38%;  $C_{29}\beta\beta / (\alpha\alpha+\beta\beta)$  比值为 24.5%。

综合考虑上述运移效应、生源信息与成熟度指标, 可以排除 S5-10 与 W-4 井原油与西北坡重油的亲缘关系, 而把 B86、S4062 及 S4209 原油作为该重油的同源油。研究证实盆地中南部原油系来自该处  $Eh_3$  上段生油岩<sup>1</sup>, 从而可以推论西北坡重油的油源岩也应是盆地中南部  $Eh_3$  上段生油层。据此可以认为: 泌阳盆地中南部  $Eh_3$  上生油层所生原油排出源岩之后, (一部分) 经输导层向西北发生侧向运移, 在西北坡浅层储集岩中遭受到氧化及生物降解作用, 逐步形成目前所见到的次生降解重油 (或稠油)。

### 参 考 文 献

- (1) Curiale J.A., 1986. Org. Geochem. Vol.10, Nos 1-3, p 559-580.  
 (2) Dahl B. and Speers G.C., 1986. Geochem. Vol.10, Nos 1-3, p547-558.  
 (3) 张丽洁等, 1990, 中国科学, B辑, 第1期, 69—76页

<sup>1</sup> 汪本善、程克明、马万怡等, 泌阳凹陷石油运移研究总结报告, (内部印刷)。



## Investigations on the Characteristics of Heavy Oil and Its Origins in Northwestern Slope of Biyang Basin, China

Wang Benshan Zhang Lijie Xing Fujian Mai Bixian Li Hancheng

(Guangzhou Branch of Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences)

Ma Wanyi Zhu Zhaobi

(Institute of Petroleum Exploration and Development)

Cheng Keming Su Aiguo

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development)

### Abstract

In this study, some representative samples of normal crude oils in Biyang basin and heavy oils of Northwestern slope of the basin, as well as the major possibly source rocks have been investigated by means of organic geochemical techniques. The main results are as follows:

1. By comparison with normal crude oils occurred in Biyang basin, the heavy oils located in NW slope of the basin possess higher viscosity ( $> 280$  mPa. s), higher concentration of resins plus asphaltenes ( $> 34\%$ ), lower wax ( $< 15\%$ ) and lower condensation point ( $< 24^\circ\text{C}$ ), besides they have bigger specific gravity.

2. Physical properties of heavy oils located in different part of the NW slope exist some differentiations. The closer to the NW margin of the basin, the bigger specific gravity. With increasing specific gravity of the sample, its viscosity and concentration of resins plus asphaltenes increased, while its wax decreased. Besides the common biomarkers, some special biodegrading products, such as  $\alpha$ - $\beta$ -25-norhopane, 17 $\beta$ -28-norlupane, 17 $\beta$ -23, 28-bionorlupane and so on have been also detected in saturated hydrocarbon fractionations of heavy oils.

3. According to the input information, such as the ratios of steranes/terpanes, gammacerane/ $C_{30}\alpha$ - $\beta$ -hopane and maturity parameters, such as the ratios of motane/hopane,  $C_{29}$ -sterane- $\alpha\alpha\alpha$  20S/20(S+R) and  $C_{29}$ -sterane- $\beta\beta$  / ( $\alpha\alpha + \beta\beta$ ), the normal crude oils can be divided into three groups. The B86-B4062 group collected at the centre-southern part of the basin is much similar to heavy oils, as far as original molecular parameters is concerned.

4. The 3rd member of Hetaoyuan Formation ( $Eh_3$ ) situated in NW slope of the basin is still immature source rock. So far it hasn't been entered into the oil generation threshold. Besides, the various biomarker parameters of it are different from that of heavy oils.

Based on the comprehensive study of the characteristics mentioned above, the authors suggest that the heavy oils of NW slope of Biyang depression originated from secondary alteration (include oxidative degradation and biological degradation) of the normal crude oils, i.e. both heavy oils of NW slope and normal crude oil of centre-southern part of the basin have the same source. While the normal crude oil was migrated, accumulated and preserved in the shallow reservoirs of NW slope of the basin, it suffered secondary alteration and formed the heavy oil progressively.