

文章编号: 1001-6112(2004)03-0292-06

# 辽河盆地大民屯凹陷油气性质及成因机制研究

谢文彦<sup>1,2</sup>, 姜建群<sup>1,2</sup>, 张占文<sup>2</sup>, 邱芳<sup>2</sup>

(1. 石油大学 资源与信息学院 北京 昌平 102249; 2. 中国石油 辽河油田分公司, 辽宁 盘锦 124010)

**摘要:** 大民屯凹陷油品性质复杂, 既有含蜡量小于 20% 的正常油, 又富含蜡量 > 20% 的特高蜡油。经过原油物性、甾萜等分析, 认为高蜡油油源岩沉积环境为较正常油贫粘土、盐度相对较高、相对闭塞的弱还原环境, 其母质应由陆源高等植物和低等水生生物共同构成, 且经微生物改造较强烈。正常油油源以高等植物为主体, 处于相对氧化且富粘土的沉积环境。通过精细油源对比认为: 大民屯凹陷高蜡油主要来源于沙四下部的“油页岩”, 而正常油母质主要为沙四上和沙三四的厚层泥岩。综合分析认为高蜡油成因主要受控于沉积母质和沉积环境的双重控制, 且因整个大民屯凹陷较低的热演化程度而使高蜡油得以保存。

**关键词:** 辽河盆地; 大民屯凹陷; 高蜡油; 单体烃同位素; 油页岩

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

大民屯凹陷位于辽河断陷盆地的东北部, 下第三系分布面积约为 800 km<sup>2</sup>。沙四段和沙三段暗色泥岩是凹陷的主力烃源岩, 目前已在凹陷内发现 5 套含油气储集层, 其中前第三系潜山和下第三系沙三段砂岩是最重要的产层, 近两年来又在沙四段发现了工业油藏。凹陷含油气丰度高, 是我国东部著名的“小而肥”含油凹陷, 也是闻名于世的高蜡高凝原油的生产基地。其油品性质复杂, 截止 2001 年底, 大民屯凹陷探明储量为 3.088 9 × 10<sup>8</sup> t, 其中高蜡油为 2.044 3 × 10<sup>8</sup> t, 约占总探明储量的 66%。高蜡原油源研究已取得一定认识, 但不能对烃源岩和高蜡原油的分布作出令人信服的解释。本次油源研究中注重了“油页岩”段样品的分析研究。烃源岩样品地化分析数据展示沙四上段下部“油页岩”段有机质丰度高、类型好, 测井资料  $\Delta \lg R$  解释技术对沈 166 等井的应用结果表明, “油页岩”段具有极强的生烃能力, 是其上部大套泥岩段远不可比拟的。高蜡油恰好围绕这套“油页岩”分布, 这让我们意识到高蜡油可能与“油页岩”段有关。

## 1 源岩特征

大民屯凹陷在裂陷期主要发育了 2 套烃源岩。沙四早期, 凹陷大部分为浅水覆盖, 南北水体略有差异, 大致以大民屯至东胜堡一线为界, 其北水体比较

闭塞、安静, 普遍集中发育一套油页岩和钙质泥岩, 含砂率极低, 砂岩百分比在 2% ~ 5% 之间。其发育规模受凹陷形态控制, 分布面积达 335 km<sup>2</sup>, 在东西两侧洼陷带——安福屯洼陷和胜东洼陷, 最大厚度达 300 m, 中间潜山古隆起部位厚度较小, 一般在 50 ~ 150 m 之间, 平均厚度在 150 m 左右。该套地层有机质丰度特别高, 在东西两侧洼陷带内, 有机碳含量高达 13%, 在潜山古隆起部位, 有机碳值也在 2% 以上, 有机质类型主要是 I 型, 还有部分 II<sub>A</sub> 型。

油页岩沉积后, 水进速度加快, 水域范围达到最大程度, 但仍为浅水环境, 沉积了质纯灰色泥岩, 在荣胜堡洼陷及曹台地区北部厚度最大, 达到 600 m, 安福屯洼陷及静安堡地区泥岩厚度在 200 ~ 400 m

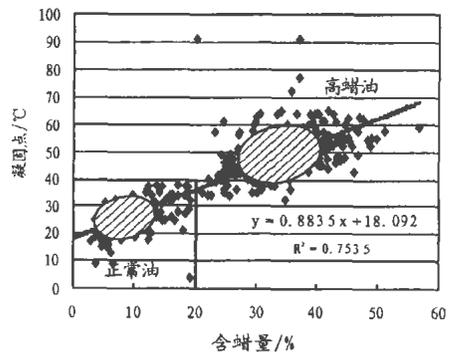


图 1 大民屯凹陷含蜡量与凝固点关系图

Fig. 1 Relationship between wax content and solidification point of crude oil from Damingtun sag

收稿日期: 2003-09-09; 修订日期: 2004-05-18.

基金项目: 中国石油科技项目“辽河探区油气资源评价”部分成果.

作者简介: 谢文彦(1963-), 男(满族), 辽宁岫岩人, 教授级高级工程师, 主要从事地质工程工作.

之间,三台子洼陷沈221井区的泥岩厚度达到500m左右。沙三四段沉积时期,沉降中心南移,北部地区相对抬升,湖水向南退缩,湖泊范围较前期明显缩小。在荣胜堡洼陷中心及大民屯地区,暗色泥岩累计最大厚度达600多米,洼陷周围高部位的泥岩较薄,厚度一般低于200m。该套泥岩有机碳含量较油页岩低得多,在荣胜堡和安福屯洼陷,有机碳含量值最高,达到2.5%,类型以II<sub>A</sub>型为主;在大民屯地区,有机碳含量在1.5%~2.0%之间,类型主要是II<sub>B</sub>型,还有部分II型。

## 2 原油物性与组成特征

大民屯凹陷原油按密度可分为轻质油、正常原油和生物降解重质原油。一般为正常原油和轻质油( $>90\%$ ),轻质油密度低于 $0.80\text{ g/cm}^3$ ,含有较多的溶解气。正常原油密度一般小于 $0.9\text{ g/cm}^3$ 。部分浅层油藏有生物降解重质原油(S32油层),原油密度大于 $0.9\text{ g/cm}^3$ 。

本区绝大部分原油含蜡量大于8%,特高凝固点原油的含蜡量大于20%。为区别起见,本次研究,将含蜡量大于20%的称为(特)高蜡油,含蜡量低于20%的称为正常油。

凹陷原油的凝固点最高可达 $70\text{ }^\circ\text{C}$ 。图1显示出凝固点呈双峰型分布,分别位于 $20\sim 30\text{ }^\circ\text{C}$ 及 $40\sim 60\text{ }^\circ\text{C}$ 两个区间,其中大于 $40\text{ }^\circ\text{C}$ 的占50%,为特高凝固点的原油。含蜡量与凝固点之间存在的良好相关性。本区原油含蜡量平均为25.1%,最高可达56.7%,含蜡量大于20%的占样品的60%。凹陷原油的含蜡量也呈双峰型分布,分别位于5%~15%及30%~40%两个区间。

本区原油(除重油外)中硫的含量一般在0.012%~0.273%之间,平均为0.092%。正常原油中的含硫量(0.13%)略高于高蜡油(0.076%)。

从纵向上看,来自古潜山和沙四段的原油均位于高蜡、高凝的区域;来自沙三段的原油性质较复杂,类型多样,沙三四以高蜡油为主,而沙三三和沙三二以正常油为主。原油性质的异同反映了其内在的成因联系。

## 3 原油地球化学性质

### 3.1 族组成

族组成可以客观反映原油的烃类组成和成因类型<sup>[1]</sup>。高蜡油与正常油的族组成之间存在细小的差

别,主要表现为:a)高蜡油的饱和烃含量(65.27%~80.25%)比正常油(52.65%~74.93%)略高,高蜡油的芳烃含量(11.47%~19.1%)比正常油(14.53%~31.17%)略低。b)饱/芳比一般受成烃母质和成熟度的控制,大民屯凹陷不同类型原油的族组成略有差异,高蜡油的非烃及沥青质含量(8.28%~15.63%)比正常油(7.59%~16.18%)略低,而且高蜡油的饱/芳比值(3.42~7.0)明显比正常油(1.69~4.84)高得多。这种差异反映了烃源岩的成烃母质存在一定的差异。

### 3.2 饱和烃气相色谱

饱和烃气相色谱中包含了丰富的成熟度、沉积环境和母质信息。高蜡油和正常油的气相色谱特征差别较明显。

在正构烷烃方面,高蜡油的正构烷烃多呈后峰型分布,主峰碳为 $C_{27}$ 或 $C_{29}$ ,少数为 $C_{19}$ ,其 $C_{21}^-/C_{22}^+$ 比值多小于0.6,一般为0.36~0.58, $C_{21+22}/C_{28+29}$ 比值一般小于1.1,在0.75~1.67之间分布,正常油的主峰碳为 $C_{19}$ 或 $C_{21}$ ,其 $C_{21}^-/C_{22}^+$ 比值多大于0.6,一般为0.69~1.48, $C_{21+22}/C_{28+29}$ 比值一般大于1.5,在1.45~2.37之间,上述参数表明高蜡油的母质中陆源高等植物的贡献要多一些;原油的正构烷烃均无明显的奇偶优势,说明原油已经成熟。

就异构烷烃而言,开阔水体条件下沉积的岩石所生成的油,其 $Pr/nC_{17}$ 之比小于0.5,而源于内陆—沼泽相沉积的石油,该比值却小于1,同时 $Pr/nC_{17}$ 和 $Ph/nC_{18}$ 两比值都随石油热成熟而增加,高蜡油的 $Pr/nC_{17}$ 和 $Ph/nC_{18}$ 比值分别为0.17~0.55和0.07~0.17,正常油的 $Pr/nC_{17}$ 和 $Ph/nC_{18}$ 比值分别为0.48~0.72和0.33~0.49,因而高蜡油的油源岩应沉积于内陆—沼泽相,正常油的源岩沉积于开阔水体中。

### 3.3 饱和烃色一质特征

甾萜生物标志化合物可提供丰富的原油成熟度信息<sup>[1]</sup>[如 $Ts/(Ts+Tm)$ , $C_{29}\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 及 $C_{29}S/(S+R)$ 等]、母质信息(如三环萜/五环三萜烷、奥利烷/ $C_{30}$ 藿烷、 $C_{29}$ 藿烷/ $C_{30}$ 藿烷以及甾/藿烷等)和沉积环境信息(如伽马蜡烷/ $C_{30}$ 藿烷、 $C_{30}^*/C_{29}Ts$ )。

由表1可知,无论高蜡油还是正常油,都以五环三萜烷为主,三环萜烷含量很低。不同类型原油中反映成熟度的参数差异较小,都属于成熟油,但成熟度不高。而反映母质构成和沉积环境的参数差异较明显。三环萜/ $17\alpha(H)$ 藿烷作为母源参数,可用来比较细菌或藻类脂体(三环萜)和来源于不同原核生物的标志物(藿烷)。大民屯凹陷高蜡油的三环萜/

表 1 大民屯凹陷原油甾萜生物标志化合物参数表

Table 1 Biomarker parameters of steroid and terpene of crude oil from Damingtun Sag

井号	性质	IA	IB	IC	ID	IE	IF	IG	IH	C <sub>27</sub> /%	C <sub>28</sub> /%	C <sub>29</sub> /%	II	IJ	IK
安 1	高蜡油	0.45	0.44	0.40	0.27	0.65	0.08	12.24	0.06	31.39	22.01	46.60	0.80	0.36	0.07
安 81	高蜡油	0.52	0.26	0.34	0.10	0.58	0.09	20.35	0.04	16.85	21.49	61.66	0.58	0.24	0.15
安 83	高蜡油	0.56	0.60	0.43	0.22	0.53	0.08	13.10	0.03	18.22	24.44	57.33	1.61	0.54	0.07
胜 11	高蜡油	0.60	0.54	0.31		0.68	0.13		0.03	36.14	10.40	53.47			0.21
胜 21	高蜡油	0.60	0.59	0.44	0.10	0.41	0.08	12.52	0.03	21.56	25.77	52.67	1.24	0.49	0.08
新沈 74	高蜡油	0.59	0.60	0.51	0.36	0.53		8.55	0.03	23.43	22.71	53.86	2.25	0.62	0.11
安 81	高蜡油	0.54	0.35	0.44	0.15	0.58	0.09	17.69	0.03	40.82	13.91	45.27	0.53	0.28	0.09
沈 223	高蜡油	0.67	0.62	0.53	0.47	0.46	0.18	11.90	0.04	18.71	22.93	58.36	1.60	0.56	0.11
沈 625	高蜡油	0.64	0.50	0.43	0.34	0.53	0.17	11.04	0.04	14.71	19.83	65.45	0.94	0.47	0.14
静 42—62	高蜡油	0.46	0.52	0.40	0.06	0.48	0.03	15.93	0.03	20.24	25.59	54.17	0.66	0.35	0.05
沈 119	高蜡油	0.45	0.58	0.41	0.16	0.54	0.08	18.92	0.03	19.22	22.41	58.37	1.35	0.51	0.11
沈 12	高蜡油	0.78	0.53	0.45	0.06	0.31	0.10	11.02	0.04	37.57	2.71	59.72		0.37	0.03
胜 15	高蜡油	0.61	0.61	0.39	0.11	0.39	0.07		0.05	33.58	20.87	45.55		0.39	0.03
安 15—25	高蜡油	0.56	0.53	0.42	0.24	0.69	0.14	17.68	0.03	19.93	21.01	59.06	1.42	0.32	0.16
静 59	高蜡油	0.48	0.57	0.43	0.17	0.49	0.10	12.12	0.04	19.40	26.38	54.22	1.17	0.46	0.06
沈 629	高蜡油	0.69	0.66	0.45	0.29	0.38	0.07	12.88	0.04	16.36	33.20	50.43	1.33	0.55	0.11
沈 84	正常油	0.57	0.70	0.45		0.73	0.18		0.04	29.11	37.68	33.21		0.58	0.10
沈 97	正常油	0.59	0.56	0.36	0.06	0.46		10.70	0.03	23.07	21.55	55.39	2.27	0.37	0.05
沈 97	正常油	0.55	0.57	0.47		0.45	0.05		0.03	36.61	19.98	43.41			0.06
沈 161	正常油	0.60	0.50	0.40	0.07	0.45	0.06	11.60	0.03	27.11	15.19	57.70	1.90	0.41	0.06
沈 67	正常油	0.56	0.55	0.38	0.06	0.43		11.62	0.03	24.62	14.34	61.04	2.45	0.35	0.05
沈 80	正常油	0.58	0.59	0.43	0.05	0.44	0.10	11.24	0.04	25.89	22.62	51.48	1.66	0.39	0.04
新沈 81	正常油	0.59	0.53	0.40	0.08	0.42		9.98	0.05	29.69	14.25	56.06	2.05	0.56	0.04
法 1	正常油	0.55	0.54	0.39	0.06	0.38		9.55	0.05	25.15	20.40	54.45	2.50	0.48	0.04
沈 135	正常油	0.64	0.64	0.43	0.07	0.38	0.11	10.86	0.04	25.99	23.15	50.86	2.30	0.43	0.05
沈 30	正常油	0.54	0.54	0.40	0.06	0.42		11.64	0.04	24.30	15.46	60.24	3.12	0.57	0.04
前 32—42	正常油	0.60	0.54	0.37	0.06	0.41		10.94	0.04	24.48	16.12	59.40	2.12	0.42	0.06
沈 116	正常油	0.66	0.62	0.43	0.08	0.41	0.11	10.10	0.04	26.54	20.21	53.25	2.15	0.46	0.06
法 101	正常油砂	0.58	0.35	0.26	0.08	0.54	0.06		0.12	41.86	7.10	51.04			0.18
沈 135	正常油砂	0.66	0.49	0.46	0.05	0.41	0.06	12.64	0.03	21.54	12.69	65.77	3.40	0.39	0.03
沈 138	正常油砂	0.73	0.35	0.43	0.05	0.31	0.04	13.66	0.02	21.16	10.88	67.96	4.22	0.56	0.08
沈 155	正常油砂	0.27	0.44	0.28	0.14	0.68	0.04	5.70	0.12	60.39	6.72	32.89			0.05
新沈 81	正常油砂	0.62	0.26	0.52		0.37	0.07		0.04	26.04	17.14	56.82		0.40	0.04
平均	高蜡油	0.57	0.53	0.42	0.21	0.51	0.10	14.0	0.04	24.26	20.98	54.76	1.19	0.43	0.10
	正常油	0.58	0.52	0.40	0.07	0.45	0.08	10.8	0.05	29.03	17.38	53.59	2.51	0.46	0.06

参数意义 两种油成熟度相似, 皆为成熟油 高蜡油油源由陆源高等植物和低等水生生物共同构成, 且经微生物改造较强烈, 正常油油源以高等植物为主体 高蜡油油源沉积环境较正常油贫粘土, 盐度相对较高的相对闭塞的弱还原环境

注: IA = T<sub>s</sub> / (T<sub>s</sub> + T<sub>m</sub>); IB = C<sub>29</sub>甾烷 S / (S + R); IC = C<sub>29</sub>甾烷 β / (β + α); ID = Σ 三环萜 / Σ 藿烷; IE = C<sub>29</sub>藿烷 / C<sub>30</sub>藿烷; IF = 奥利烷 / C<sub>30</sub>藿烷; IG = C<sub>24</sub>四环 / Σ 三环萜; IH = 甾烷 / 藿烷; C<sub>27</sub> = C<sub>27</sub>αα / (C<sub>27</sub> + C<sub>28</sub> + C<sub>29</sub>) αα - R - 甾烷; C<sub>28</sub> = C<sub>28</sub>αα / (C<sub>27</sub> + C<sub>28</sub> + C<sub>29</sub>) αα - R - 甾烷; C<sub>29</sub> = C<sub>29</sub>αα / (C<sub>27</sub> + C<sub>28</sub> + C<sub>29</sub>) αα - R - 藿烷; II = C<sub>27</sub>重排甾烷 / C<sub>27</sub>αα - 甾烷; IJ = C<sub>30</sub>\* 藿烷 / C<sub>29</sub>T<sub>s</sub> IK = 伽马蜡烷 / C<sub>30</sub>藿烷。

17α(H)藿烷比值比正常油高许多, 这表明高蜡油中有较多细菌和藻类脂体的贡献, 而 C<sub>29</sub>/C<sub>30</sub>藿烷比值较高反映了其源岩中富含陆相有机质, 由此可以推断出高蜡油的母质来源中不仅有丰富的陆源高等植物, 同时也有细菌和藻类脂体的贡献。一般情况下, 高的甾/藿烷比值是主要来源于浮游或底栖藻类生物的海相有机质, 相对低的甾/藿烷比值主要指示陆源和微生物改造过的有机质<sup>[1]</sup>, 大民屯高蜡油的规则甾烷/17α(H)藿烷比值比正常油稍低一些, 反

映高蜡油陆源经过微生物改造的有机质较多。

重排甾烷/规则甾烷比值普遍被用来鉴别原油的沉积环境, 原油中低的重排甾烷/规则甾烷比值指示来源于缺氧、贫粘土生油岩; 高的重排甾烷/规则甾烷比值是来源于富含粘土生油岩的典型特征。与高蜡油相比, 正常油重排甾烷/规则甾烷比值较高, 可见正常油的源岩中富含粘土矿物。原油中 C<sub>30</sub>\* 可能是由细菌藿类前驱物经历了氧化作用, 在粘土介质酸性催化下发生重排而形成 C<sub>30</sub>\*, 富含陆源有

机质输入的许多源岩都沉积在氧化至亚氧化环境中,且富含粘土。 $C_{30}^*/C_{29}Ts$  相对含量强烈地取决于沉积环境,来源于氧化至亚氧化环境页岩中的油比来源于缺氧环境的油具有更高的  $C_{30}^*/C_{29}Ts$  值。正常油的  $C_{30}^*/C_{29}Ts$  较高蜡油稍高,反映后者来源于相对闭塞的还原环境。伽马蜡烷表现为高盐度海相和非海相沉积环境的标志,伽马蜡烷/ $C_{30}$  藿烷比值可以指示有机质沉积时的水体盐度条件,高蜡油的伽马蜡烷/ $C_{30}$  藿烷比值比正常油高得多,因此高蜡油形成于还原性较强的沉积环境。

## 4 油源对比

我们从单体烃碳同位素、饱和烃色质等方面开展了油源对比工作(本次研究与以往不同之处在于将沙四段下部以“油页岩”和钙质泥岩为主的高丰度源岩和上部厚层灰色—深灰色泥岩分开,分别与原油进行精细对比)。对比研究认为沙四段下部油页岩的地球化学特征更接近于高蜡油,而暗色泥岩的地化特征与正常原油相似。

### 4.1 单体烃稳定碳同位素对比

原油单体烃类在线同位素分析简称单体烃同位素,是利用色谱仪将包括生物标志化合物在内的化合物分离,然后利用同位素质谱仪进行碳同位素测量的一项新技术。它使同位素的应用达到了分子级水平。饱和烃单体烃同位素分析即检测从  $C_{13}$  到  $C_{35}$  左右的正构烷烃和部分类异戊二烯烃的同位素组成,由于原油单体组分的碳同位素特征由其母质决定,从而使不同环境的油源岩生成的单体烃同位素具有不同的分布模式,即原油单体烃同位素分布曲线代表了某一特定生油母质的成油现象,因此可进行有效的油—油对比<sup>[2,3]</sup>。

图 2 是研究区原油和源岩的单体烃同位素分布曲线,从图中可见,总的特征是从  $C_{15}$  到  $C_{30}$  随着碳数增加,逐渐富集轻同位素,同位素值降低,分布曲线呈单斜形;高蜡油单体烃碳同位素曲线较平缓,分异度小,且姥鲛烷(Pr)、植烷(Ph)稳定碳同位素值与  $C_{17}$ 、 $C_{18}$ 、 $C_{19}$  的值差别不大,不具备“W”型,姥鲛烷(Pr)、植烷(Ph)稳定碳同位素值甚至较  $C_{17}$ 、 $C_{18}$ 、 $C_{19}$  的值重,略呈反“W”型。而正常油饱和烃单体烃碳同位素曲线倾斜度较大。且 Pr 和 Ph 的同位素值与相邻的正构烷烃相比要低, $nC_{17}-Pr-nC_{18}-Ph-nC_{19}$  等 5 个样品点构成了一个很明显的 W 形状。

油页岩饱和烃单体烃稳定碳同位素曲线较平缓, $nC_{17}-Pr-nC_{18}-Ph-nC_{19}$  等 5 个样品点分异

度不大或略呈反“W”型,与高蜡油分布特征很相似。而来自厚层泥岩的饱和烃单体烃稳定碳同位素曲线较陡,“W”形状较明显,这与正常油特征相似。

### 4.2 生物标志化合物对比

甾萜烷中的一些特征的种类可以反映有机质输入或沉积环境。甾萜烷中一些参数的变化主要反映油源输入,而不受成熟度影响,这样的参数广泛地应用于对比中。由前面原油生物标志化合物参数可知研究区高蜡油与正常油主要在母质组成和沉积环境方面存在差异,而本区油页岩反映母质特征的规则甾萜/ $17\alpha(H)$ 藿烷、三环萜烷/五环三萜烷、奥利烷/ $C_{30}$  藿烷以及四环萜/五环三萜烷分别是 0.04%, 0.27%, 0.1% 和 22.07%, 而泥岩分别为 0.03%, 0.1%, 0.03% 和 14.54%, 可见“油页岩”有机质不仅陆源高等植物丰富,且含有较多的低等水生生物,经微生物改造较强烈。而泥岩有机质主要由高等植物构成。油页岩反映沉积环境特征的  $C_{27}$  重排/ $C_{27}\alpha\alpha\alpha$ -甾萜、 $C_{30}^*/C_{29}Ts$  和伽马蜡烷/ $C_{30}$  藿烷分别为 0.69, 0.41 和 0.15, 对应泥岩为 0.79, 0.49 和 0.06, 可见“油页岩”沉积环境较厚层泥岩相对贫粘土且盐度相对较高的相对闭塞的弱还原环境。这与前面讨论的高蜡油生油母质应表现的沉积环境特征相似。而厚层泥岩则处于相对氧化富粘土的沉积环境,表现特征与正常油母质信息一致。

由上述分析可知研究区高蜡油主要来源于“油页岩”,而正常油母质主要为沙四上与沙三四的厚层泥岩。

## 5 高蜡油成因研究

这里的“油页岩”并不是严格意义上的油页岩,而是富含有机质的腐泥质泥岩。烃源岩的地化特征表明,“油页岩”形成在有一定深度的水体环境中,既有丰富的陆源高等植物碎屑,同时也含有细菌和藻类等水下植物和低等浮游生物,因此“油页岩”中有机质特别丰富,有机显微组分中富含类质组分富氢贫氧脂族烃组分含量较高,芳烃含量较低贫杂原子机团,有机质类型主要为 I 型和 II<sub>A</sub> 型,按有机质丰度评价标准,已超过最好烃源岩标准,生烃潜力较高,热演化研究表明,目前已进入生烃门限。

传统观点认为原油中的蜡主要由植物中的角质体提供<sup>[1]</sup>,近年来高蜡油源岩的有机岩石学研究以及海相原油中沉淀蜡的高温气相色谱分析证实低等水生生物和藻类也能提供丰富的蜡<sup>[4-6]</sup>。岩石抽提物的高温气相色谱分析结果表明:以高等植物为主

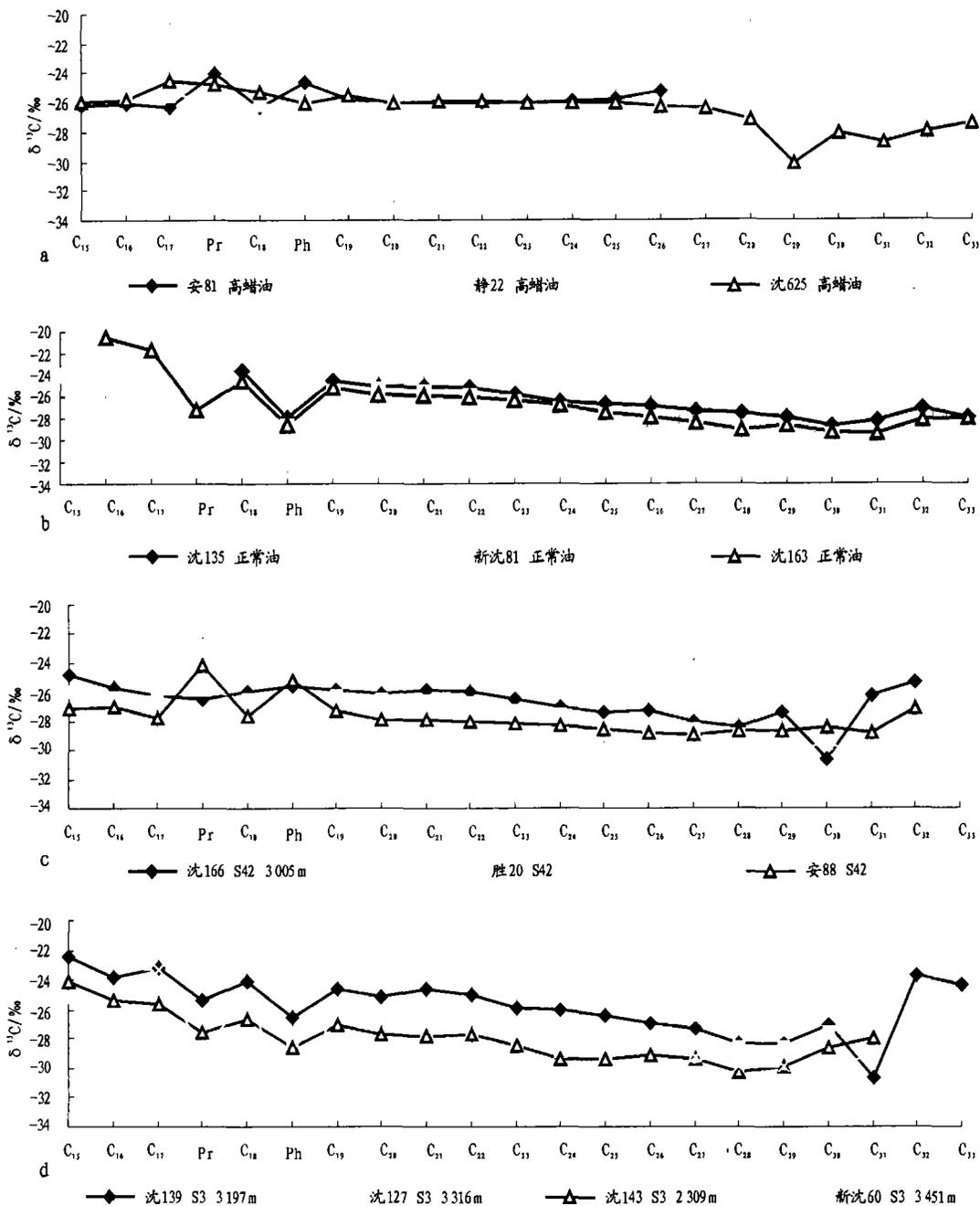


图 2 大民屯凹陷原油及岩源单体烃同位素分布图

a. 高蜡油; b. 正常油; c. 油页岩; d. 泥岩

Fig. 2 Stable carbon isotope composition of individual compounds from oil and source rock of Damingtun Sag

的源岩和以低等水生生物为主的源岩都能形成蜡, 但蜡的含量和组成不同, 高等植物来源的源岩抽提物中蜡的含量较高, 但以中低分子量的蜡为主<sup>[7]</sup>, 这表明陆源植物和低等水生生物均是原油中蜡的先体物质。Wang 等<sup>[9]</sup>通过对中国典型高蜡油盆地源岩的有机岩石学研究后, 同样发现以无定形为主的 I 型干酪根也是形成高蜡油的重要母源。大民屯凹陷沙四下“油页岩”段有机质由高等植物和低等水生生物共同构成, 有机质丰度高 (TOC 平均 3% ~ 6%, 最高达 13%), 因而其产物的含蜡量高于一般

泥岩。

高蜡油主要分布在东胜堡潜山、静安堡潜山及静北广大地区, 明显受油页岩的分布控制, 而正常油主要环绕荣胜堡凹陷分布。沙四早期, 由于凹陷中北部断裂活动强, 在沈 119—胜 16 一线以北与安 92—曹 23—曹 22 一线以南的广大地区形成相对封闭的半深湖—深湖环境, 沉积了一套厚逾百米的“油页岩”, 荣胜堡凹陷在这期间为水下基岩凸起, 仅在其四周的低洼地区沉积了沙四早期的“油页岩”。其沉积水体盐度较高。沙四后期和沙三时期整个凹陷沉降

中心南移, 荣胜堡凹陷接受了巨厚的暗色泥岩、砂岩及砂泥岩互层等滨浅湖、浅湖相沉积物, 其沉积时水体开阔, 水体盐度较低。“油页岩”生成的高蜡油, 由于其含蜡量较高, 粘度较大, 因此运移距离较短, 根据差异聚集的原理优先进入古潜山、沙四段中的储层砂体或以断层作为运移通道, 进入 S3 下部储层砂体中, 形成高蜡油藏, S4 上部和 S3 下部烃源岩热演化程度较低, 基本处于低熟阶段, 仅在荣胜堡洼陷由于处于沉降中心, 埋深较大进入生油门限, 生成的正常原油由于粘度较小, 比较容易运移, 侧向上直接进入储层, 纵向上通过断层垂向运移进入储层在遇到合适的圈闭时聚集成藏<sup>7</sup>。

## 6 结论

辽河盆地大民屯凹陷油品性质复杂, 既有含蜡量小于 20% 的正常油, 又富含蜡量 > 20% 的特高蜡油。经过原油物性、甾萜等分析, 认为高蜡油油源沉积环境较正常油贫粘土, 为盐度相对较高的相对闭塞的弱还原环境, 其母质应由陆源高等植物和低等水生生物共同构成, 且经微生物改造较强烈。正常油油源以高等植物为主体, 处于相对氧化且富粘土的沉积环境。通过单体烃同位素、生物标志化合物

的精细油源对比认为, 大民屯凹陷高蜡油主要来源于沙四下部的“油页岩”, 而正常油母质主要为沙四上部和沙三四的厚层泥岩。综合分析认为高蜡油成因主要受控于沉积母质和沉积环境的双重控制, 且因整个大民屯凹陷较低的热演化程度从而使高蜡油得以保存。大民屯凹陷下一步高蜡油的勘探应该围绕着“油页岩”的分布开展。

致谢: 文中研究工作受到辽河油田研究院李金有、王延山高级工程师的大力支持, 在此鸣谢。

### 参考文献:

- 1 李虹, 黄海平, 史晓颖等. 辽河西部凹陷双南油田油气组成变化及成藏机制的地球化学分析[J]. 石油实验地质, 2001, 23(4): 444~451
- 2 张文正, 裴戈. 液态烃正构烷烃系列、姥鲨烷、植烷碳同位素初步研究[J]. 石油勘探与开发, 1992, 19(5): 32~41
- 3 赵孟军, 黄第藩, 张水昌. 原油单体烃的碳同位素组成研究[J]. 石油勘探与开发, 1994, 21(3): 52~59
- 4 Thanh N X, Hsieh M, Philp R P. Waxes and asphaltenes in crude oils[J]. Org Geochem, 1999, 30: 119~132
- 5 Wang F Y, He P, Hao S S. Origin of Chinese lacustrine high-wax oil sand organic petrology-wax oil sand organic petrology of its source rocks[J]. AAPG Bulletin, 1997, 81: 1567
- 6 黄海平. 大民屯凹陷烃源岩中高分子量烃的形成与分布特征[J]. 石油实验地质, 2000, 12(4): 297~301
- 7 陈振岩, 陈永成, 仇劲涛. 辽河盆地新生代断裂与油气关系[J]. 石油实验地质, 2002, 24(5): 407~412

## PETROLEUM CHARACTERS AND FORMATION MECHANISM IN THE DAMINGTUN SAG OF THE LIAOHE BASIN

XIE Wen-yan<sup>1, 2</sup>, JIANG Jian-qun<sup>1, 2</sup>, ZHANG Zhan-wen<sup>2</sup>, QIU Fang<sup>2</sup>

(1. Natural Resource and Information Technology Institute, Petroleum University, Beijing 102249, China;

2. Liaohe Oilfield Branch Company, PetroChina, Panjing, Liaoning 124010, China)

**Abstract:** Oil from Damingtun Sag can be divided into normal oil with waxy content is less than 20% and high waxy oil with wax is more than 20%. Comparing with normal oil, the depositional environment of source rocks of high waxy oil is characterized by poorer shale, higher salty and relative restricted weak reduction water body, and the organic matters are mainly composed of higher plant and lower grade aquatic creatures based on physical nature, sterane and terpene analysis of crude oil. Detail oil-rock correlation shows that high waxy oil originates from “oil shale” of Es<sup>4(2)</sup>, whereas normal oil sourced from shale of Es<sup>4(1)</sup> and Es<sup>3(4)</sup>. Formation of high waxy oil is mainly controlled by the organic matter of source rocks and the sedimentary environment. The low thermal condition makes the high waxy oil to be preserved in the sag.

**Key words:** high waxy oil; stable carbon isotope of individual compound; oil shale; Damingtun Sag; Liaohe Basin