

文章编号: 1001- 6112(2005)03- 0281- 07

苏北盆地高邮凹陷北斜坡西部油气运移研究

吴向阳^{1,2}

(1. 中国科学院 研究生院, 北京 100039; 2. 江苏油田 物探技术研究院, 南京 210046)

摘要: 通过甾烷、萜烷、轻烃、含氮化合物等地球化学参数对苏北盆地高邮凹陷北斜坡西部油气成熟度和油气运移进行了研究, 得到 3 点认识: 第一, 码头庄地区为低- 未成熟油, 赤岸地区为成熟油, 其中韦 5 和韦 8 块为生物降解油, 两地区的油气分别来自不同油源区; 第二, 轻烃运移参数显示赤岸地区油气来自邵伯次洼, 具自东向西的运移特征; 第三, 含氮化合物运移参数显示赤岸地区油气运移方向为自东向西, 码头庄地区油气则自南向北运移。

关键词: 油气运移; 生物标志; 高邮凹陷; 苏北盆地

中图分类号: TE122. 1

文献标识码: A

1 高邮凹陷北斜坡西部油源区及含油构造带

高邮凹陷北斜坡西部存在 2 个油源区, 形成 2 个含油构造带。码头庄构造连同赤岸、大仪集(称为大赤码地区), 是江苏油田最具勘探活力的地区之一。

已发现了庄 2 油田、赤岸油田, 其中赤岸油田包括韦 2、韦 5 和韦 8 块; 庄 2 油田是江苏油田较典型的未熟-低熟油^[1,2] 分布区之一(图 1)。

自南往北韦 2、韦 5 井产低熟油, $C_{29}20S/(20S+20R) > 0.30$; 庄 2 井产未熟-低熟油, $C_{29}20S/(20S+20R)$ 为 0.20~0.30; 庄 3 井产未熟油, $C_{29}20S/(20S+20R) < 0.20$ (图 2)。

庄 2 井原油的烃源岩为 E_1f^2 , 根据 $C_{29}20S/$

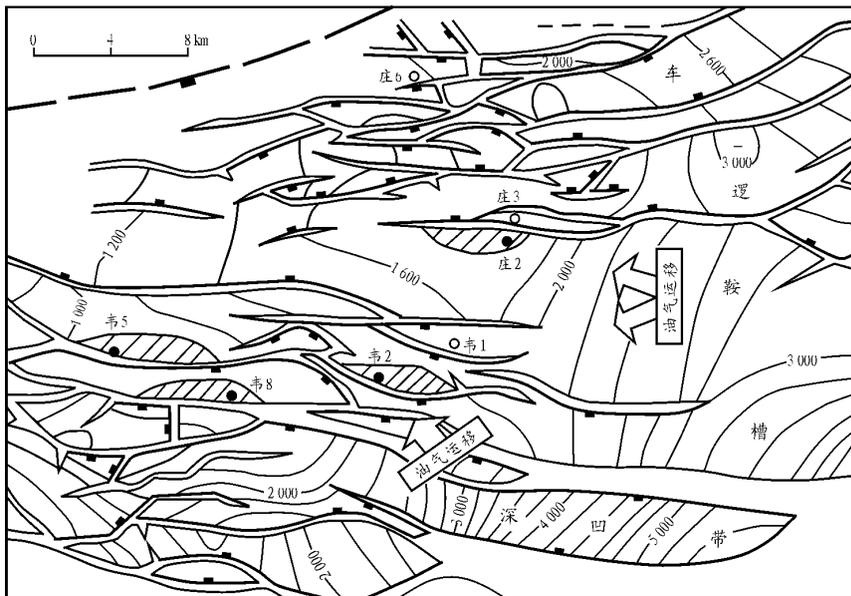


图 1 高邮凹陷斜坡带西部构造单元及油气运移分析示意图

Fig. 1 Sketch map of tectonic units and hydrocarbon migration in the western slope in Gaoyou Sag

收稿日期: 2004- 08- 20; 修订日期: 2005- 04- 07。

作者简介: 吴向阳(1960—), 男(汉族), 浙江兰溪人, 高级工程师、博士生, 主要从事石油地质综合研究。

基金项目: 中国石化集团科技项目(P03012)。

(20S+ 20R) - 深度关系曲线判断,主要来自东侧的车逻鞍槽,即深度大于 2 300 m 的烃源区。

庄 2 井原油的正构烷烃特征明显不同于深度小于 2 300 m 的生油岩和与未熟烃源岩相关的庄 3、庄 6 油砂中的未熟油,它有来自相当于较深的车逻鞍槽 2 300~ 3 200 m 处的生油岩的混合特点,导致在同井不同层位上原油表现出不同的甾烷异构化参数 $C_{29} 20S / (20S + 20R)$, 即庄 2 井上部 $E_1 f^2$ (1 628.92 m) 为低熟, $C_{29} 20S / (20S + 20R) = 0.28$; 下部 $E_1 f^1$ (1 685.68 m) 为未熟, $C_{29} 20S / (20S + 20R) = 0.22$ 。庄 2 井上部低熟油可能是混有来自车逻鞍槽的成熟油所致。

韦 2 油藏东南存在着高邮凹陷邵伯次洼,因此不能排除成熟油的混源作用。韦 2 井的正构烷烃图谱特征表现为高度成熟(图 2),与源岩的正构烷烃对比,其源岩深度应大于 3 200 m,且在其南部存在深达 4 500 m 的深洼,油源是可以肯定的。但韦 2 井原油 C_{29} 甾烷异构体比值仅为 0.30,明显偏低。根据未熟油与成熟油的混源实验,完全可以达到 $C_{29} 20S / (20S + 20R)$ 低值,而正构烷烃则表现出高度成熟,原油中的生物标志物表现为低或未熟油特征原油。由此推测韦 2 井原油主要油源为深洼成熟油,其次为来自车逻鞍槽斜坡及附近的未熟-低熟生油岩。

韦 2 井西侧,距韦 2 井约 8~ 10 km 的韦 5 井,

在 $E_1 f^{2+1}$ 中的原油的成熟度与韦 2 井相当,亦认为油源来自深洼,通过一定距离运移到韦 5 圈闭。

2 利用轻烃资料研究油气运移

轻烃的 $C_6 - C_8$ 段单体烃化合物在油气运移过程中的分馏机理是,随油气运移距离增加, iC_4/nC_4 指标呈升高趋势,轻烃组分的异构化、环烷化趋势不断加剧。在异构组分中,二甲基、三甲基链烃将比单甲基链烃更能体现运移影响。据此建立了如下指标:异构化指数 2,3-二甲基戊烷/(2-甲基己烷+3-甲基己烷);环化指数 $C_6 - C_7$ 环烷/(正己烷+正庚烷);异构化-环化指数(二甲基- + 三甲基- + 环化 $C_6 - C_7$ 烷烃)/(正己烷+正庚烷);轻烃综合运移指数(以上三项指标相加之和)。随着运移距离的增加,上述各项指标均有增大趋势。

赤岸地区自东向西的韦 2 油田,韦 8 油田和韦 5 油田的轻烃综合运移指数分别为 1.89, 3.93 和 11.09,即油气运移程度自东而西呈增大趋势,反映本区油气主要运移方向为自东而西。这与本区构造东低西高成斜坡是相吻合的。

3 利用含氮化合物研究油气运移

目前,已经有学者利用含氮化合物资料对油气

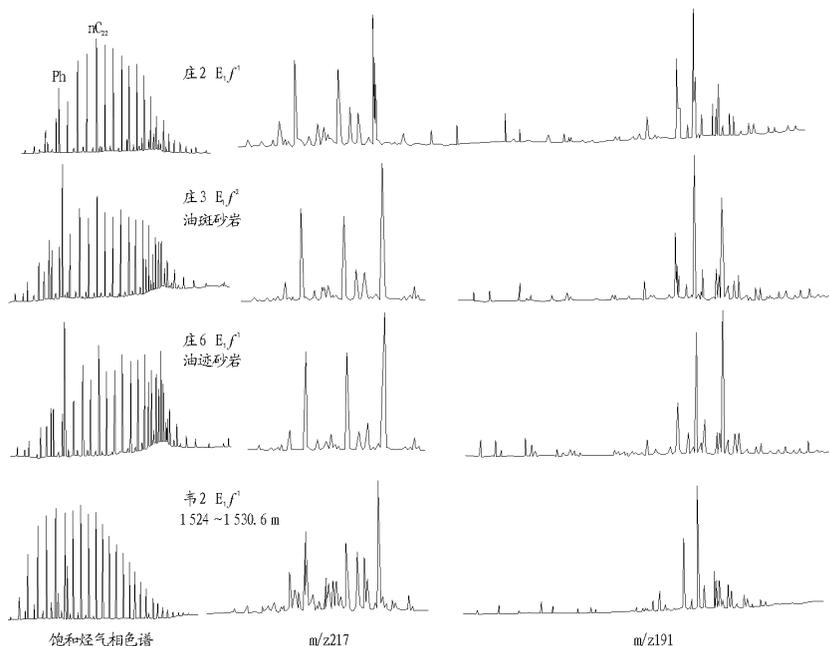


图 2 高邮凹陷斜坡带西部代表性原油饱和烃气相色谱、甾烷(m/z 217)及萜烷(m/z 191)分布图

Fig.2 Distribution map of gas chromatogram of saturated hydrocarbon, sterane(m/z 217) and terpane (m/z 191) in representative crude oil in the west of the slope in Gaoyou Sag

运移进行研究,揭示油气运移方向和路径,并取得了较好的效果。

非烃中咪唑类和苯酚类即为含氮化合物,它们都是极性化合物,在运移中比较容易被矿物表面吸附并与水介质发生化学反应,依据它们相对浓度的变化可以判断油气运移方向和途径^[3-5]。一般来说运移距离越长,相对浓度就越小。根据含氮化合物运移效应,选取了下列有效的咪唑运移参数:

a) $1,8- / 2,4- \text{DMC}$ ——屏蔽型二甲基咪唑与暴露型 2,4 ——二甲基咪唑丰度之比;

b) $1,8- \text{DMC} / \sum \text{DMC}, \%$ ——屏蔽型二甲基咪唑在二甲基咪唑总量中的比例;

c) $\text{NEX}' \text{s- DMC} / \sum \text{DMC}, \%$ ——暴露型二甲基咪唑在二甲基咪唑总量中的比例;

d) $1,8- \text{DMC} / \text{NPE}' \text{s- DMC}$ ——屏蔽型二甲基咪唑与所有半屏蔽型二甲基咪唑丰度的比;

e) $1,8- \text{DMC} / \text{NEX}' \text{s- DMC}$ ——屏蔽型二甲基咪唑与所有暴露型二甲基咪唑丰度之比;

f) W ——咪唑类化合物绝对丰度。

3.1 韦庄地区

韦庄地区位于高邮凹陷北斜坡西段,为一系东西向南掉断层组成的长条形断鼻构造群,目前已发现韦2、韦5、韦6、韦8、韦9、韦10和韦11等含油断块,主要含油层位为 E_1f^{2+1} 。前述油源对比研究已证实该地区原油来自 E_1f^2 烃源岩,但可能的供油源区有3个,一是位于该区东侧的深凹带油源区,二是位于该区东北方向的车逻鞍槽,三是该区西南方向可能存在的秦栏次凹。本次通过含氮化合物指标的研究,对该区油源及运移路径得出新的认识。

韦庄地区韦5、韦6和韦8油藏原油存在生物降解。生物降解作用对含氮化合物的影响机理目前尚

不十分清楚, Maowen Li 等(1997)曾指出,当涉及生物降解的油气藏系统时,咪唑类含氮化合物的应用应当谨慎^[6]。因此,在利用含氮化合物资料研究韦庄地区油气运移之前,有必要对该区原油的生物降解作用及其对含氮化合物分布的影响作一探讨。

3.1.1 生物降解作用对含氮化合物分布的影响

韦庄地区韦5、韦6和韦8油藏原油色谱-质谱资料显示原油中仍保存有完整的正构烷烃系列,只是低碳数正构烷烃含量有所降低(表1)。这几个油藏原油的 C_{21}^- / C_{22}^+ 、Pr/Ph 值较韦2、韦9、韦11正常原油值偏低, Pr/nC₁₇、Ph/nC₁₈ 值则有所增大。生物降解作用对甾萜烷生物标记物的影响甚微,各井甾萜烷的组成与分布十分相近,既反映了油源的一致性,同时也说明该区生物降解程度轻微。

现今含氮化合物的丰度特征实际上主要是运移和生物降解共同作用的结果。根据现有数据,生物降解单一因素对含氮化合物丰度的影响尚难以定论,但可以肯定的是该区原油轻微生物降解作用对含氮化合物的相对分布影响不大。各油藏含氮化合物的相对分布在区域上呈现出规律性变化,运移仍然是影响该区含氮化合物相对分布的主导因素,因而可以利用含氮化合物的相对分布研究该区油气运移。

3.1.2 利用含氮化合物研究韦庄地区油气运移

韦庄地区含氮化合物参数的相对分布表现出一定的运移分馏效应(表2)。韦X11井和韦6-2井的屏蔽型咪唑相对丰度最低,这两口井的 $1,8- \text{DMC} / \sum \text{DMC}$ 分别为 11.62% 和 10.66%。屏蔽型咪唑相对丰度向西呈逐渐增大趋势,韦5-19井和韦8井的 $1,8- \text{DMC} / \sum \text{DMC}$ 最大,分别为 12.70% 和 13.88%; 而暴露型咪唑的相对丰度则表现出相反的

表1 韦庄地区原油烃类地球化学参数

Table 1 Geochemical parameters of hydrocarbons in crude oil in Weizhuang area

井号	C_{21}^- / C_{22}^+	Pr/nC ₁₇	Ph/nC ₁₈	Pr/Ph	T _m /T _s	甾萜			
						C ₂₇ , %	C ₂₈ , %	C ₂₉ , %	C ₂₇ /C ₂₉
韦2	1.08	0.27	0.50	0.53	2.40	22.02	29.64	48.34	0.46
韦5	0.44	0.63	1.46	0.40	2.51	23.23	27.62	49.15	0.47
韦5-13	0.55	0.76	1.55	0.44	2.50	23.43	27.32	49.25	0.48
韦5-18	0.48	0.91	1.85	0.35	2.62	23.94	29.33	46.73	0.51
韦5-19	0.37	0.83	1.53	0.35	2.46	22.77	28.61	48.61	0.47
韦5-21a	0.41	1.88	3.27	0.37	2.37	23.42	29.10	47.48	0.49
韦5-29	0.44	1.28	2.74	0.36	2.52	25.60	28.34	46.06	0.56
韦6-2	0.36	1.00	3.02	0.26	2.73	22.88	31.78	45.34	0.50
韦8	0.27	0.61	1.30	0.19	2.61	23.45	26.60	49.96	0.47
韦9	0.57	0.31	0.64	0.46	1.97	24.28	27.65	48.06	0.51
韦x11	0.58	0.32	0.59	0.49	2.42	25.95	27.25	46.80	0.55

表 2 韦庄地区原油含氮化合物运移参数

Table 2 Migration parameters of nitrogen compounds in crude oil in Weizhuang area

井号	层位	a	b	c	d	e	f
韦 5- 19	E ₁ f ¹⁺²	1.46	12.70	26.43	0.21	0.48	42.48
韦 5- 13	E ₁ f ¹⁺²	1.32	12.08	27.10	0.20	0.45	47.79
韦 5	E ₁ f ¹⁺²	0.69	6.99	35.64	0.12	0.20	116.56
韦 5- 18	E ₁ f ¹⁺²	1.40	12.32	26.57	0.20	0.46	32.07
韦 5- 21a	E ₁ f ¹⁺²	1.18	11.13	28.17	0.18	0.40	40.25
韦 5- 29	E ₁ f ¹⁺²	1.16	10.80	28.31	0.18	0.38	34.96
韦 8	E ₁ f ¹	1.68	13.88	24.62	0.23	0.56	13.17
韦 6- 2	E ₁ f ¹⁺²	1.18	10.66	28.56	0.18	0.37	107.94
韦 2	E ₁ f ¹	1.55	12.77	33.95	0.24	0.38	23.00
韦 9	E ₁ f ¹⁺²	1.27	11.25	30.04	0.19	0.38	14.21
韦 X11	E ₁ f ¹	1.07	11.62	30.60	0.20	0.38	10.57

注: a. 1,8- /2,4- DMC; b. 1,8- DM C/ ΣDM C, %; c. NEX¹ s- DM C/ ΣDM C, %; d. 1,8- DMC/ NPE¹ s- DM C; e. 1,8- DMC/ NEX¹ s- DM C; f. W

变化趋势, 韦 X11 井, 韦 6- 2 井, 韦 5- 19 井和韦 8 井原油参数 NEX¹ s- DM C/ ΣDM C 分别为 30.60%, 28.56%, 26.43% 和 24.62%。据此推测该区油气分别从韦 11 块和韦 6 块两个方向注入, 该区油源主要来自深凹带和车逻鞍槽, 油气自东、东北方向向西、西南方向运移。该区构造自东向西抬升, 反映油气运移方向受构造控制(图 3)。韦 5 块上的 6 口井(韦 5、韦 5- 19、韦 5- 13、韦 5- 18、韦 5- 21a、韦 5- 29 井)的含氮化合物参数也清楚地反映了油气自东而西注入韦 5 块, 与该区总的运移方向一致(图 4)。

3.2 码头庄地区

码头庄地区位于高邮凹陷北斜坡西段韦庄地区以北, 为由两组 NEE 向反向断层构成的地堑式结构。庄 9 断层以南为一系列由北掉断层形成的断块

圈闭, 地层南倾; 庄 9 断层以北则为南掉断层控制的断块圈闭, 地层北倾(图 5)。这一特殊的地质结构决定了该区的油气运移路径与方向。

目前, 该区在庄 2、庄 9 及庄 5 块发现了 E₁f²⁺¹ 油藏, 前人已在此庄 2 块采集了庄 2- 6、庄 2- 15、庄 2- 19、庄 2- 3 等井的 4 块样品, 本次研究补充采集了庄 9A 及庄 5 两口井的样品, 并利用这 6 块样品的含氮化合物测试分析结果(表 3), 结合该区的地质结构, 对该区油气运移方向与路径进行了探讨。

从含氮化合物绝对浓度上来看, 庄 2 块 4 个样品的值明显高于庄 9A 及庄 5 井样品, 总体上反映该区油源以南侧深凹为主, 因庄 2 块距此油源最近而表现为相对较高的浓度。但从含氮化合物参数的相对比值来看, 该区油气并非简单地呈由南向北运

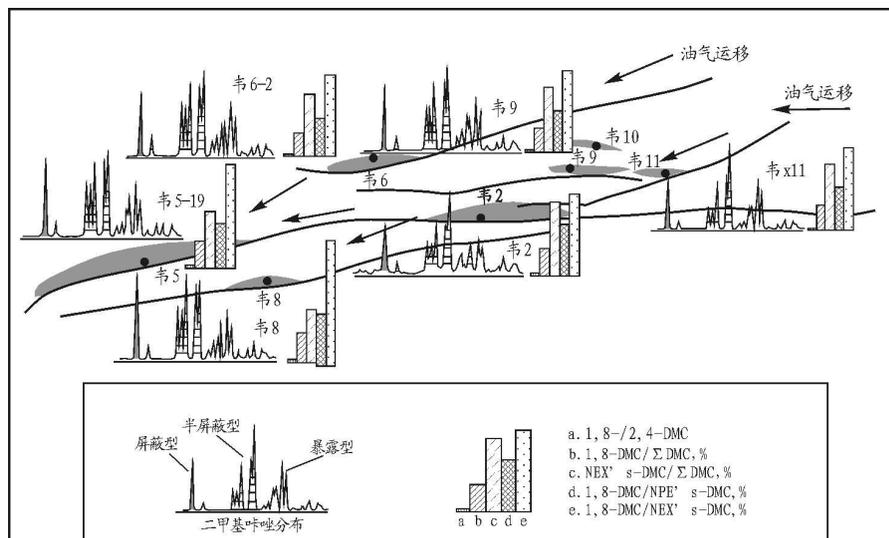


图 3 韦庄地区含氮化合物分布特征与油气运移方向

Fig. 3 Distributing characteristics of nitrogen compounds and direction of hydrocarbon migration in Weizhuang area

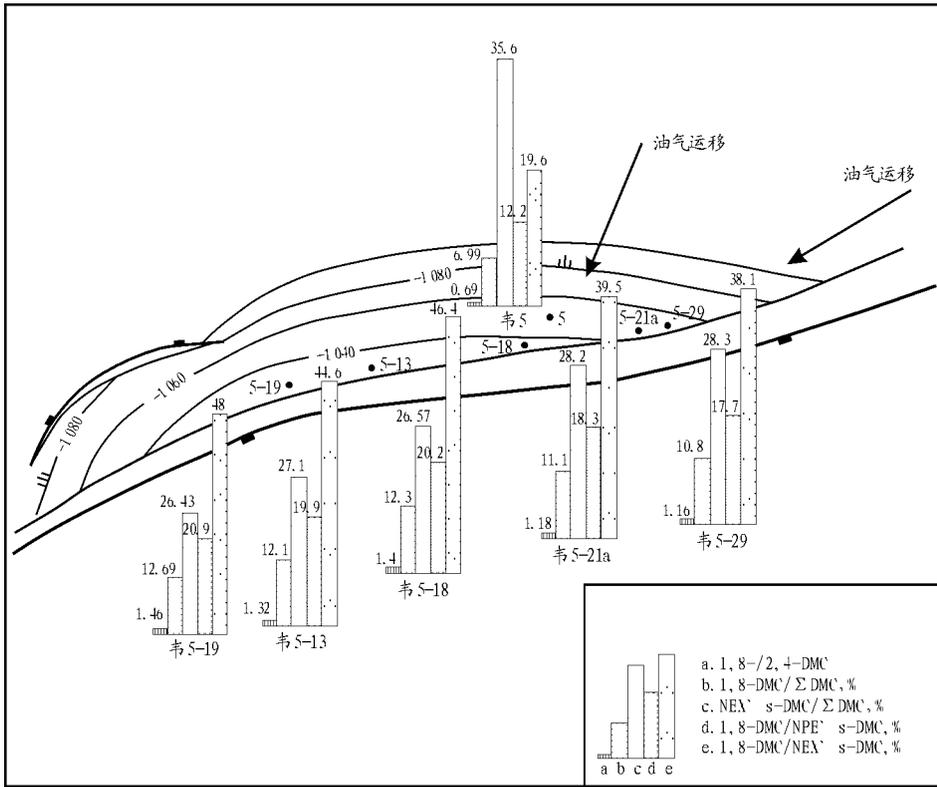


图 4 韦 5 块含氮化合物参数变化指示的油气运移方向

Fig. 4 Direction of hydrocarbon migration indicated by variations of nitrogen compound parameters in Wei 5 Block

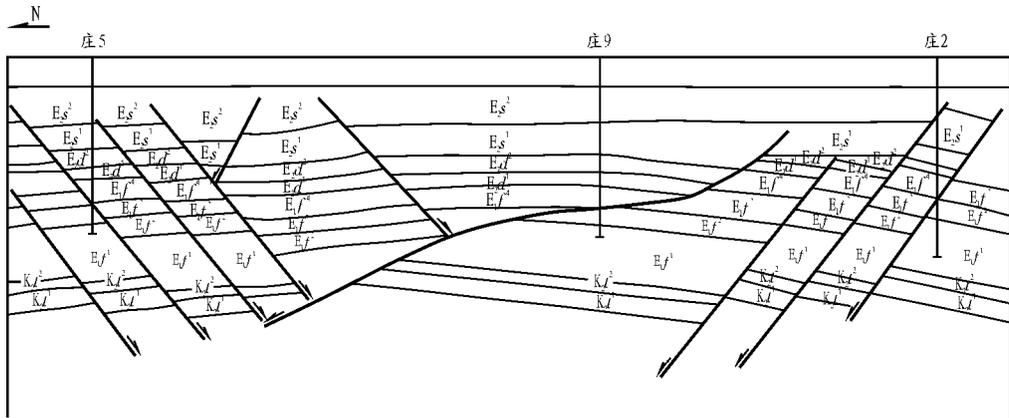


图 5 码头庄地区地堑式地层结构图

Fig. 5 Configuration map of graben-shape strata in Matouzhuang area

表 3 码头庄地区原油含氮化合物运移参数

Table 3 Migration parameters of nitrogen compounds in crude oil in Matouzhuang area

井号	层位	a	b	c	d	e	f
庄 5	E_{1f}^{2+3}	0.55	5.99	34.83	0.10	0.17	6.02
庄 9A	E_{1f}^1	0.71	8.05	33.87	0.14	0.24	6.65
庄 2- 6	E_{1f}^1	0.68	8.72	40.79	0.17	0.21	34.91
庄 2- 15	E_{1f}^1	1.25	10.65	36.43	0.20	0.29	28.06
庄 2- 19	E_{1f}^1	0.75	8.13	41.40	0.16	0.20	25.30
庄 2- 3	E_{1f}^1	0.74	8.31	40.51	0.16	0.21	19.07

注: a. 1, 8- / 2, 4- DMC; b. 1, 8- DMC / Σ DMC, %; c. NEX' s- DMC / Σ DMC, %; d. 1, 8- DMC / NPE' s- DMC; e. 1, 8- DMC / NEX' s- DMC; f. W

移, 庄 5 井屏蔽型咪唑相对含量最低(见表 3 中 a、b、d、e 值)。从地质结构(图 5)上看, 来自南部的油气很难越过地堑进入庄 5 块, 分析认为该块油气主要来自东侧的车逻鞍槽, 庄 5 断层沟通了这一油源而成为油气运移的主要通道。庄 9A 井屏蔽型咪唑的相对含量也较低, 其参数分布特征与庄 5 井相似, 反映了与庄 5 井具有相似的油源及运移条件, 即车逻鞍槽也是其主要油源, 庄 9 断层为油源断层。从地层结构上看, 庄 2 块 E_{1f}^{2+1} 中的油气也较难进入到庄 9 块的 E_{1f}^{2+1} 圈闭中。庄 2

块 4 口井的参数分布在南北方向和东西方向上存在着差异。从南北方向上看, 南部的庄 2-3 井的屏蔽型与半屏蔽型和暴露型化合物的比值较北部断层附近的其它 3 口井低, 表现出油气自南向北运移、注入的特征; 从东西方向上看, 庄 2-19、庄 2-3、庄 2-6 及庄 2-15 井的屏蔽型与半屏蔽型和暴露型化合物的比值依次增高, 表现出油气自东而西的运移、注入特征。分析认为庄 2 块既有南部深凹提供的油气, 也有来自东侧车逻鞍槽的油气(图 6, 7)。

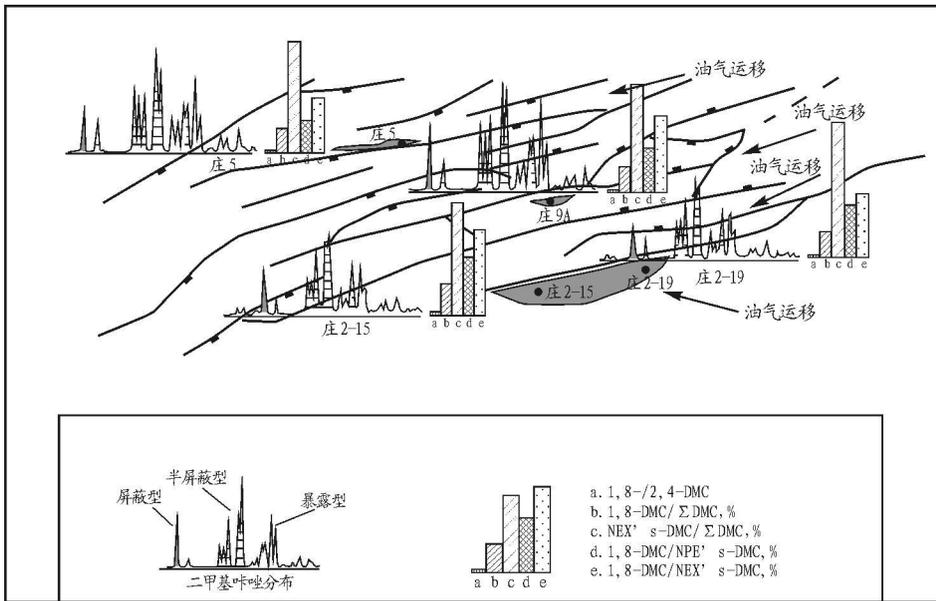


图 6 码头庄地区含氮化合物参数分布及油气运移方向

Fig. 6 Distributions of nitrogen compounds and direction of hydrocarbon migration in Matouzhuang area

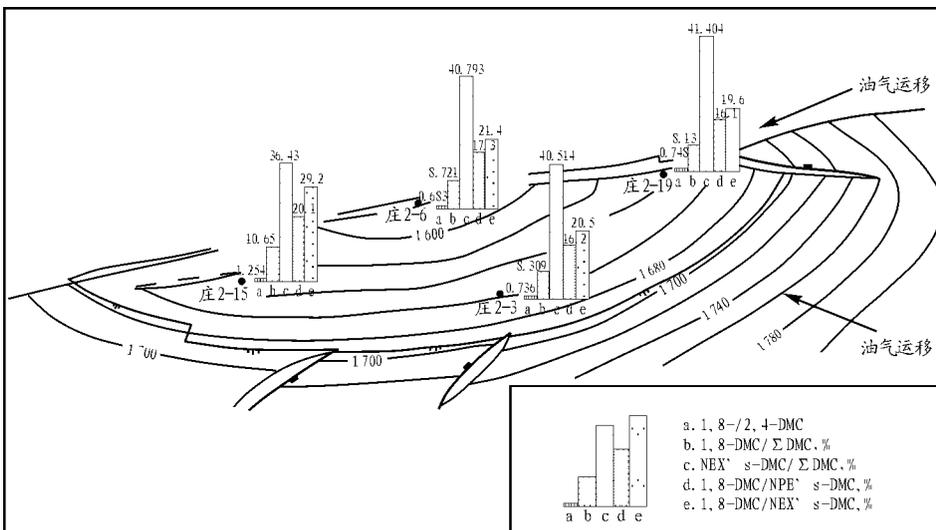


图 7 码头庄地区庄 2 块含氮化合物参数分布及油气运移方向

Fig. 7 Distributions of nitrogen compounds and direction of hydrocarbon migration in Zhuang 2 Block, Matouzhuang area

4 结论

1) 通过甾、萜烷成熟度分析, 认为码头庄地区原油来自车逻鞍槽的阜二段低- 未成熟油; 而南部的赤岸地区油气则来自邵伯次洼的阜二段成熟油。

2) 通过轻烃运移参数分析, 赤岸地区的韦 2、韦 8 和韦 5 油藏有规律变化, 反映油气自东向西运移的特征。

3) 通过含氮化合物运移参数分析, 赤岸地区的韦 2、韦 8 和韦 5 油藏有规律变化, 反映油气自东向西的运移特征; 码头庄地区则自南向北运移, 即从庄 2 到庄 9 方向运移。

参考文献:

- 1 黄第藩, 张大江, 王培荣等. 中国未成熟石油成因机制和成藏条件[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003. 542~ 545
- 2 王铁冠. 低熟油气形成机理与分布[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995. 195~ 210
- 3 J M 丘比特, W A 英格兰. 油藏地球化学[M]. 王铁冠, 张枝焕译. 北京: 石油工业出版社, 1997. 117~ 139
- 4 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): 83~ 86
- 5 李贤庆. 应用含氮化合物探讨油气运移和注入方向[J]. 石油实验地质, 2004, 26(2): 200~ 205
- 6 Maowen Li, Huangxin Yao. Effect of maturity and petroleum expulsion on pyrrolic nitrogen compound yields and distributions in Buvrnay formation petroleum source rock in central Alberta Canada[J]. Org Geochem, 1997, 26(11- 12): 731~ 744

STUDY OF HYDROCARBON MIGRATION IN THE WEST OF NORTH SLOPE IN GAOYOU SAG, THE NORTH JIANGSU BASIN

Wu Xiangyang^{1,2}

(1. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

2. Institute of Geophysical Prospecting Technology, Jiangsu Oilfield, Nanjing, Jiangsu 210046, China)

Abstract: The oil and gas maturity, hydrocarbon migration and accumulation in the west of north slope in Gaoyou Sag are discussed according to such geochemical parameters as steroid, terpane, light hydrocarbon and nitrogen compounds in this paper. Researches show that the oil in Matouzhuang area is low-mature to immature, the oil in Chian area is mature. The oils trapped in Wei 5 Block and Wei 8 Block are biodegraded. The petroleum in the two areas come from different oil sources. The parameters of light hydrocarbon migration show that the hydrocarbon in Chian area comes from Shaobo Subsag. The parameters of nitrogen compounds migration indicate that the hydrocarbons in Chian area migrate from east to west and the hydrocarbons in Matouzhuang area migrate from south to north.

Key words: hydrocarbon migration and accumulation; biologic criteria; the Gaoyou Sag; the North Jiangsu Basin