

东营凹陷南坡东段沙四段原油特征及其地质意义

徐伟¹, 宋国奇², 王建伟³

(1.中国石化胜利油田分公司 勘探项目管理部, 山东 东营 257022; 2.中国石化胜利油田分公司, 山东 东营 257001; 3.中国石化胜利油田分公司 现河采油厂, 山东 东营 257068)

摘要: 东营凹陷南坡东段丁家屋子与八面河构造带之间的鞍部, 新发现了王146区块沙四段油气藏。该油气藏埋深为1 462.9~1 748.5 m, 但原油物性表现为高密度、高粘度和低凝固点的特征, 为典型的深层稠油油藏, 对其油气运移及聚集规律仍不清楚, 缺乏对深层稠油油气藏形成机理的研究。基于单井原油物性资料及其标志性化合物特征分析, 明确了研究区油气主要来自于沙四段烃源岩, 油气自生油洼陷向外运移过程中即开始发生降解作用; 依据原油降解程度的差异, 进一步明确研究区存在2条油气优势运移路径, 一条主要沿丁家屋子构造带走向运移, 另一条主要沿八面河构造带走向运移。其中油气沿丁家屋子构造带走向运移过程中的降解作用最为强烈, 从而导致王146区块深层稠油油气藏的形成, 因此沿着油气优势运移路径区域仍具有广阔的勘探前景。

关键词: 油气运移 原油物性 沙四段 丁家屋子构造带 东营凹陷

中图分类号: TE124.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2013)02-0030-04

东营凹陷南坡东段的勘探工作始于20世纪60年代, 相继部署多口探井均失利。2010年在丁家屋子与八面河构造带之间的探明储量空白区部署的王146井钻遇沙四段油层10层31 m, 发现了沙四段深层稠油油气藏, 揭示研究区蕴藏着较大的油气资源潜力。前人虽对研究区进行了大量的研究^[1-3], 但对其油气运移及聚集规律仍不清楚, 缺乏对深层稠油油气藏形成机理方面的研究^[4-6], 制约了下一步的油气勘探进程。为此, 笔者基于钻井、测井及录井等资料, 结合滩坝砂岩储层的发育特征, 对复式油气聚集带之间鞍部的油气运移和富集规律进行了深入研究, 以期研究区的勘探部署提供依据。

1 区域地质概况

研究区位于东营凹陷南坡东段丁家屋子与八面河构造带之间, 是被2个正向复式油气聚集带所夹持的构造鞍部, 呈北北东向展布, 自西北向东南逐渐抬升, 勘探面积约为300 km² (图1)。其断裂十分发育, 主要发育北北东向和东西向展布的2组断裂体系, 其中东西向展布断裂体系的延伸距离相对较小。

研究区古近系包括孔店组、沙河街组和东营组, 其中沙河街组自下而上分为沙四段、沙三段、沙

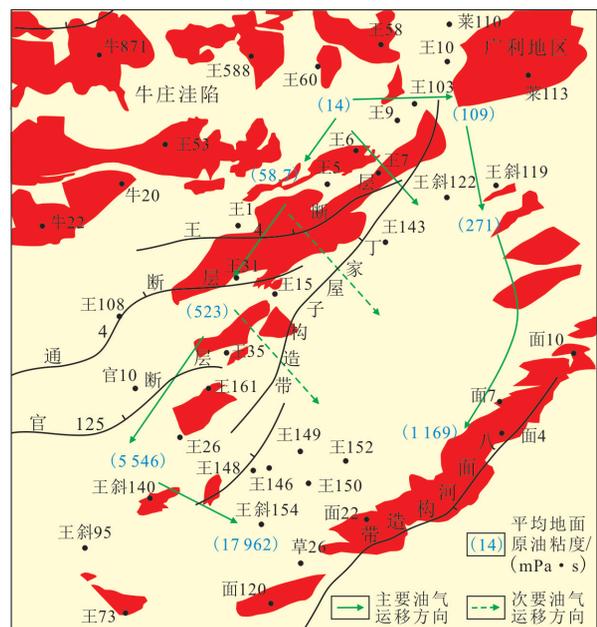


图1 东营凹陷南坡东段构造位置及油气运移方向示意

二段和沙一段。与其相邻的丁家屋子和八面河鼻状构造带均发育多套含油层系, 主力含油层系为沙河街组; 已钻井揭示, 研究区的含油层系相对单一, 主力含油层系为沙四段, 油气藏埋深为1 462.9~1 748.5 m。在沙四段上亚段沉积时期, 研究区东南缘发育多期三角洲沉积, 在三角洲侧翼和前方发育滩坝砂岩, 形成了多期、多类型的储集体^[7]; 普遍发

收稿日期: 2013-01-10。

作者简介: 徐伟, 男, 工程师, 硕士, 从事石油地质综合研究。联系电话: (0546)8552446, E-mail: xuwei196.slyt@sinopec.com。

基金项目: 国家科技重大专项“渤海湾盆地精细勘探关键技术”(2011ZX05006)。

育砂体侧向岩性尖灭,与高部位的断层遮挡条件相匹配,易于形成构造-岩性油气藏。

2 原油物性及其分布特征

王 146 区块 6 口已钻井的地面原油物性资料(表 1)表明,研究区沙四段原油具有高密度和高粘度等特征。地面原油密度为 $0.966 \sim 0.9857 \text{ g/cm}^3$, 平均为 0.9761 g/cm^3 ; 地面原油粘度为 $13497 \sim 22276 \text{ mPa}\cdot\text{s}$, 平均为 $17962 \text{ mPa}\cdot\text{s}$, 具有超稠油特征; 含蜡量变化较大, 为 $3.18\% \sim 33.37\%$, 平均为 14.71% ; 凝固点较低, 样品凝固点为 $7 \sim 18 \text{ }^\circ\text{C}$, 平均为 $12 \text{ }^\circ\text{C}$ 。在济阳拗陷成熟探区中, 油气藏埋深为 $1462.9 \sim 1748.5 \text{ m}$ 仍为重质、超稠油油气藏, 其形成机理值得深入探讨。

表 1 东营凹陷南坡东段及周缘沙四段地面原油物性特征

地区	次级单元	井号	埋深/ m	密度/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	地面原油 粘度/ ($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	含蜡 量, %	凝固 点/ $^\circ\text{C}$		
牛庄 注陷	注陷	王 60	3 243.85	0.881 6	17.4	0.11	20		
		王 9	3 096.1	0.866 3	10		29		
	东缘	王 58	3 019.15	0.870 4	15.6	0.11	28		
		王 588	3 422.4	0.858 8	9.72		30		
	王 4 断层北		王 1	2 904.4	0.887 9	29.3	0.11	37	
			王 5	2 825.1	0.898	76.8		35	
			王 103	3 077.55	0.889 3	34.5		25	
			王 7	2 616.55	0.900 1	75.2		28	
			王 6	2 897	0.900 3	58.5		31	
	丁家屋 子构造 带	官 125 断层北	王 15	2 559	0.943 8	2 600	5.51	29	
王 17			1 797.6	0.946 7	2 209	29			
王 28			2 077.4	0.982 4	1 898	28			
王 91			1 403.3	0.927	442	14			
通 32			1 940.5	0.940 7	1 663	21			
官 125 断层南			王斜 140	1 615.75	0.969 4	16 736	5.51	15	
			王斜 95	1 563.45	0.944 2	1 829		10	
			王 19	1 985.1	0.995	8 954		23	
			王 18	1 665.1	0.946 3	1 841		21	
			王斜 122	2 742.45	0.884 8	37.5		28	
王 143 区块		王斜 119	2 689.25	0.890 7	34.1	5.51	25		
		王 143	2 798.2	0.938	100		34		
丁家屋 子与八 面河构 造带之 间鞍部		王 146	1 735	0.967	17 307	3.18	18		
		王 148	1 748.5	0.976 8	19 902	15.65	15		
		王 146	1 462.9	0.985 7	16 512	25.05	7		
		王 151	1 669.8	0.966	18 278	6.12	7		
		王 152	1 534.5	0.979 5	22 276	4.88	14		
		王斜 154	1 536.5	0.982 1	13 497	33.37	12		
		莱 110 区块		莱 110	2 824.5	0.913 4	128	5.51	34
				莱 113	2 779.75	0.870 8	53.7		24
				王 10	2 988.4	0.898	75.3		28
		广利及 八面河 地区		面 10	1 561.55	0.952 8	933	5.51	34
面 4	1 367.15			0.948 5	534	24			
面 7	1 446.2			0.956 3	1 843	28			
面 120	959.1			0.984 1	3 523.9	34			

随着原油降解程度的增强, 研究区沙四段原油物性表现出密度和粘度均增大等特点(表 1)。通过对丁家屋子与八面河构造带及其之间鞍部的 150 个样品的地面原油物性分析资料进行统计, 发现自生油洼陷至盆地边缘沙四段原油粘度逐渐增大, 但不同构造单元原油粘度的变化却存在差异。丁家屋子构造带北端王 4 断层北部地区的地面原油粘度相对较低, 向南至官 125 断层北部地区随着埋深的变浅地面原油粘度迅速增大, 最高可达 $2600 \text{ mPa}\cdot\text{s}$; 至官 125 断层以南, 沙四段地面原油粘度高达 $16736 \text{ mPa}\cdot\text{s}$, 已演变为重质超稠油。丁家屋子与八面河构造带之间鞍部的原油物性分析资料相对较少, 仅有 13 个样品; 北部王 143 区块与丁家屋子构造带北部地区相似, 地面原油粘度相对较低; 而王 146 区块则与丁家屋子构造带南部地区相似, 地面原油粘度高达 $22276 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 。东营凹陷东部广利及八面河地区的地面原油粘度随着油气自生油洼陷由低部位向高部位运移过程中也呈逐渐增加的趋势, 但与丁家屋子构造带的地面原油粘度相比明显偏低, 且广利及八面河地区的原油降解作用主要受油藏埋深变浅的影响。

3 原油地球化学特征

3.1 类异戊二烯烷烃

王 146 区块及其周围沙四段原油的类异戊二烯烷烃相对含量高, $\text{Pr}/n\text{C}_{17}$ 值和 $\text{Ph}/n\text{C}_{18}$ 值分别为 $0.89 \sim 2.41$ 和 $2.11 \sim 9.02$ 。在类异戊二烯烷烃构成中, 植烷占明显优势, Pr/Ph 值为 $0.13 \sim 0.39$ (表 2)。

表 2 东营凹陷南坡东段沙四段原油饱和烃气相色谱分析参数

井号	主峰碳	OEP	CPI	$\Sigma \text{C}_{21} / \Sigma \text{C}_{22}$	$\text{Pr}/n\text{C}_{17}$	$\text{Ph}/n\text{C}_{18}$	Pr/Ph
王 58	18	0.93	0.94	0.70	0.89	2.11	0.39
王 26	24	0.88	0.92	0.32	2.31	9.02	0.13
王斜 122	24	0.84	0.90	0.71	1.31	4.10	0.30
王 148	24	0.88	0.60	0.79	2.20	8.79	0.18
王 149	24	0.98	0.77	0.58	2.41	8.94	0.22

研究区沙四段原油及烃源岩抽提物饱和烃气相色谱(图 2)表明, 沙三段下亚段烃源岩生成的烃类物质以 Pr/Ph 高值为特征, 其值通常大于 1; 而来自沙四段上亚段烃源岩的烃类物质中类异戊二烯烷烃相对含量很高, $\text{Pr}/n\text{C}_{17}$ 值和 $\text{Ph}/n\text{C}_{18}$ 值通常大于 1, Pr/Ph 值通常小于 $0.5^{[8]}$; 且 3 个样品的色谱特征均与沙四段上亚段烃源岩比较类似^[9]。此外, 研究区沙四段原油具有明显的降解作用, 在沙四段沉积时

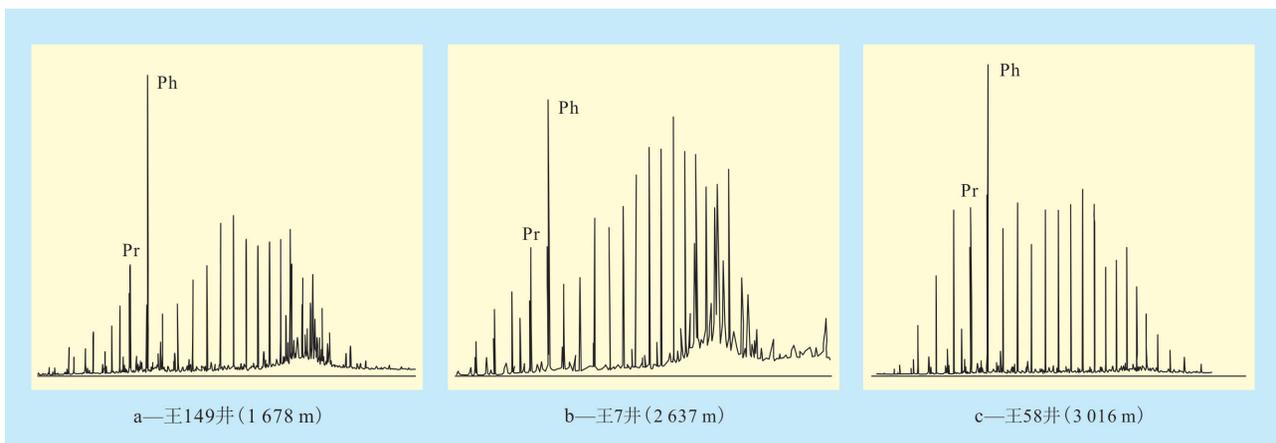


图2 东营凹陷南坡东段沙四段原油及烃源岩抽提物饱和烃气相色谱

期,自丁家屋子构造带北部即开始发生降解作用;临近牛庄洼陷的王58井沙四段原油降解作用比较微弱,而临近丁家屋子构造带的王7井烃源岩抽提物则表现出强烈的降解作用,至南部王149井区原油降解作用十分强烈。因此,研究区沙四段原油自生油洼陷向周围运移过程中发生了降解作用,至丁家屋子构造带南部原油物性已演变为重质稠油。

3.2 甾类化合物

王146区块沙四段原油的甾类化合物构成特征与整个东营凹陷南坡沙四段原油相似(图3),表明其沙四段原油的来源与东营凹陷基本一致。其原油的甾类化合物主要由规则甾烷构成,而孕甾烷、升孕甾烷、重排甾烷和4-甲基甾烷含量偏低,且规则甾烷 C₂₇, C₂₈ 和 C₂₉ 呈“V”型分布。C₂₉ 甾烷 20S/(20S+20R) 和 C₂₉ 甾烷 ββ/(ββ+αα) 值分别为 0.33 ~

0.45 和 0.34 ~ 0.58,说明规则甾烷的异构化程度较低。甾类化合物的异构化程度不仅受热作用过程控制,还受矿物质催化作用等因素影响^[10]。在以不同介质作为催化剂的条件下所做的模拟试验表明,方解石对甾烷及各种三萜烷的异构化反应有抑制作用,而粘土矿物如伊利石和蒙脱石,尤其是蒙脱石,则有利于上述异构化作用的进行^[11]。研究区原油甾烷的低异构化程度可能与烃源岩中缺少粘土矿物的催化作用有关。

3.3 萜类化合物

丁家屋子构造带周缘沙四段原油普遍表现出高伽马蜡烷含量的特点(图3),伽马蜡烷/C₃₀藿烷值大于0.7;邻近牛庄洼陷的王58井区沙四段原油的伽马蜡烷/C₃₀藿烷值为0.73,原油降解作用较弱,高伽马蜡烷含量主要是由于其生油母质形成于强还

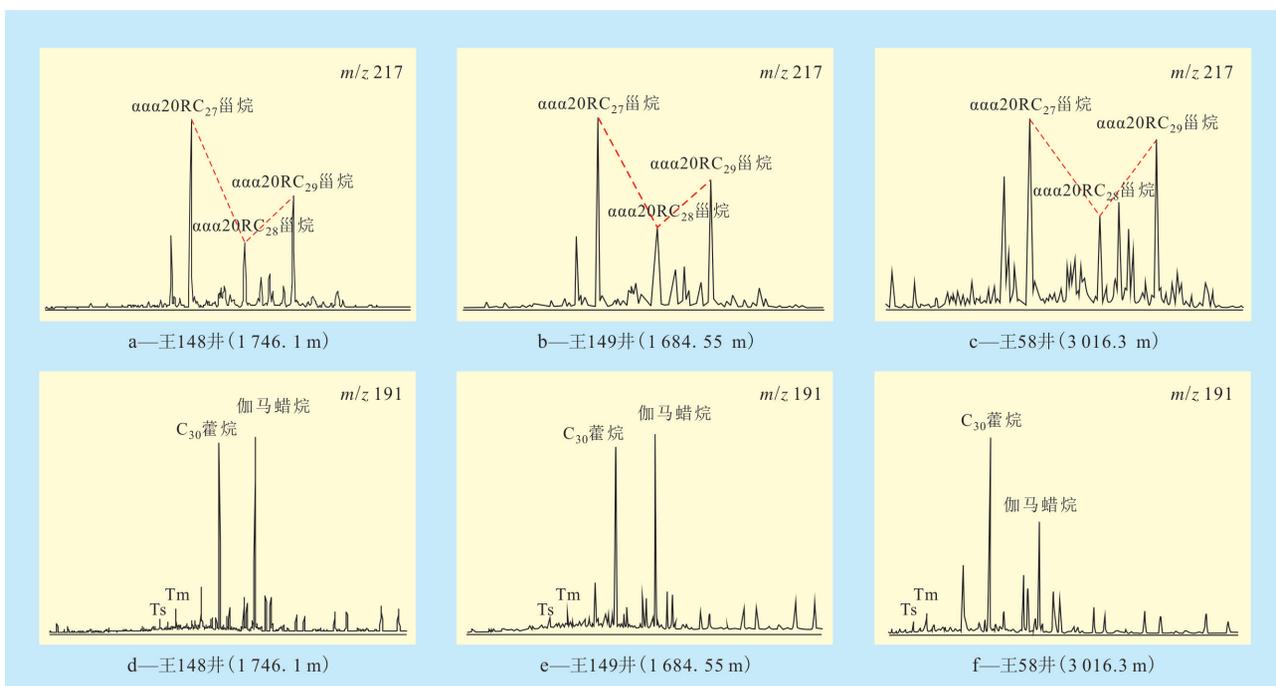


图3 东营凹陷南坡东段沙四段原油地球化学特征对比

原咸水环境^[12]。而南部的王146区块沙四段原油的伽马蜡烷/C₃₀藿烷值大于1.4,相对于王58井区表现出异常高的伽马蜡烷含量,这与其生油母质有关,并受到了原油降解作用的影响^[13-14]。

4 油气运移规律

随着沙四段烃源岩生成的油气自牛庄洼陷向外运移,即原油开始降解;且随着运移距离的增加,其地面原油粘度逐渐增大;但油气沿不同构造带运移,其降解程度存在明显差异。因此,丁家屋子与八面河构造带之间鞍部的原油物性及地球化学特征的变化,不仅反映了不同构造带对原油降解程度的控制作用,也反映出其油气运移的基本规律(图1)。牛庄洼陷沙四段烃源岩生成的油气在运移过程中主要存在2条优势运移路径。其中一条主要沿丁家屋子鼻状构造带自北向南运移,随着埋深变浅以及多条断层的继承性活动,导致原油发生强烈降解;王143和王146区块紧邻丁家屋子构造带东缘,油气沿丁家屋子鼻状构造带优势运移路径运移时存在侧向分流,致使油气在王143和王146区块沙四段富集成藏,但其地面原油物性特征与丁家屋子构造带东缘相类似。另一条主要沿广利及八面河鼻状构造带自北向南发生运移,随着埋深变浅,原油也发生降解作用,但其降解程度明显低于丁家屋子构造带及其周缘地区。

5 结束语

东营凹陷南坡东段的勘探取得突破,在丁家屋子与八面河构造带之间的鞍部发现了王146区块沙四段油气藏。该油气藏的埋深较大,最深超过1700 m,但为重质超稠油。综合研究区原油物性及其标志性化合物特征,认为东营凹陷南坡东段沙四段原油自生油洼陷向外运移过程中,无论临近生油洼陷还是周缘地区普遍发生降解作用。通过对王146区块及其邻近地区原油物性的统计表明,其沙四段油气存在2条优势运移路径,1条主要沿丁家屋子正向构造带自北向南运移,而另1条主要沿广利和八面河大型鼻状构造带自北向南运移;且其沙四段油气通过不同的运移路径的降解程度存在差异。油气沿着丁家屋子构造带发生运移,随着埋深

变浅,油气发生强烈降解,至王146区块已演变为重质稠油;而油气沿着广利及八面河鼻状构造带运移,降解作用依然存在,但相对缓慢,至八面河地区的地面原油粘度明显低于王146区块。继王146区块取得勘探突破后,丁家屋子构造带东缘沙四段仍具有很大的勘探潜力,是下一步油气勘探的新方向。

参考文献:

- [1] 王延章,宋国奇,王新征,等.古地貌对不同类型滩坝沉积的控制作用——以东营凹陷东部南坡地区为例[J].油气地质与采收率,2011,18(4):13-16.
- [2] 王健,操应长,刘惠民,等.东营凹陷南坡沙四段上亚段滩坝砂岩储层孔喉结构特征及有效性[J].油气地质与采收率,2011,18(4):21-24,34.
- [3] 李安夏,王冠民,庞小军,等.间歇性波浪条件下湖相滩坝砂的结构特征——以东营凹陷南斜坡王73井区沙四段为例[J].油气地质与采收率,2010,17(3):12-14.
- [4] 路俊刚,陈世加,王绪龙,等.严重生物降解稠油成熟度认识——以准噶尔盆地三台—北三台地区为例[J].石油实验地质,2010,32(4):373-376.
- [5] 孙向阳.东营凹陷地层水化学特征与油气聚集关系[J].石油实验地质,2001,23(3):291-296.
- [6] 孙建芳.氮气及降粘剂辅助水平井热采开发浅薄层超稠油油藏[J].油气地质与采收率,2012,19(2):47-49,53.
- [7] 李守军,王新征,杨国权,等.胜利油田王家岗地区下第三系沙四段砂岩储集层类型及分布[J].石油大学学报:自然科学版,2002,26(4):16-22.
- [8] 李素梅,庞雄奇,邱桂强,等.东营凹陷南斜坡王家岗地区第三系原油特征及其意义[J].地球化学,2005,34(5):515-524.
- [9] 张林晔,孔祥星,张春荣,等.济阳拗陷古近系优质烃源岩的发育及其意义[J].地球化学,2003,32(1):35-42.
- [10] 妥进才,邵宏晔,黄杏仁.盐湖相生油岩中某些地球化学参数与沉积环境的关系[J].沉积学报,1994,12(3):114-119.
- [11] Chosson P, Connan J, Dessort D, et al. In vitro biodegradation of steranes and terpanes: A clue to understanding geological situations [M]// Moldovan J M, Albrecht P, Philp R P, et al. Biological markers in sediments and petroleum. Englewood: Prentice Hall, 1992: 320-349.
- [12] 王屿涛,丁安娜,惠荣耀.准噶尔盆地西北缘二叠系稠油地化特征及成因探讨[J].石油实验地质,1997,19(2):158-163.
- [13] 朱芳冰,肖伶俐,唐小云.辽河盆地西部凹陷稠油成因类型及其油源分析[J].地质科学情报,2004,23(4):55-58.
- [14] 胡见义,徐树宝,程克明.中国重质油藏的地质和地球化学成因[J].石油学报,1989,10(1):1-10.

编辑 邹滋滢