

油气运移过程中的“高速刹车”稠化机理探讨

——以渤海湾盆地东营凹陷南坡东段为例

杜振京

(中国石化 胜利油田分公司 油气勘探管理中心, 山东 东营 257000)

摘要: 油气在运移过程中由于聚集成藏而产生“高速刹车”现象, 大分子物质发生阻塞无法通过, 而只有小分子物质可以继续运移。王 146 地区位于渤海湾盆地东营凹陷南坡东段构造鞍部, 该地区沙河街组四段储层中的原油地面黏度相比低部位的丁家屋子构造带和高部位的八面河构造带要高。利用“高速刹车”效应来解释这一现象的出现, 并分析了该区超稠油油藏的形成机理; 同时, 从砂体厚度、地层倾角和地层异常压力变化特征 3 个方面, 探讨了“刹车效应”形成的地质条件, 并根据研究区 3 个构造带原油的主峰碳、 $\Sigma C_{21-}/\Sigma C_{22+}$ 以及降解程度的差异性, 为原油“高速刹车”稠化机理的存在找到了有利的地球化学证据。

关键词: “高速刹车”效应; 稠油差异性成因; 地质地球化学; 油气运移; 沙河街组; 东营凹陷; 渤海湾盆地

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

Mechanism of “high-speed braking” effect

on heavy oil formation during hydrocarbon migration;

a case study of the eastern part of southern slope of Dongying Sag, Bohai Bay Basin

DU Zhenjing

(Management Center of Oil and Gas Exploration, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying, Shandong 257000, China)

Abstract: The phenomenon of “high-speed braking” occurs due to the accumulation of oil and gas during hydrocarbon migration. Then the macromolecular substances are blocked and cannot pass through, while the small molecules can continue to migrate. The well Wang 146 area is located in the eastern part of the southern slope of the Dongying Sag in the Bohai Bay Basin. The viscosity of crude oil in the fourth member of the Shahejie Formation in this area is higher than that of the Dingjiawuzi structural belt in the lower part and the Bamianhe structural belt in the higher part. The “high-speed braking” effect was used to explain the occurrence of this phenomenon, and the formation mechanism of ultra-heavy oil reservoirs in this area was analyzed. At the same time, the geological conditions for the formation of the “brake effect” were discussed from three aspects: sand body thickness, formation inclination, and the characteristics of abnormal formation pressure. The differences in the main peak carbon, $\Sigma C_{21-}/\Sigma C_{22+}$, and the degree of crude oil degradation in the three tectonic belts of the study area can be used as favorable geochemical evidence for the formation of heavy oil caused by the “high-speed braking” effect during crude oil migration.

Key words: “high-speed braking” effect; different causes of heavy oil formation; geological and geochemical evidence; hydrocarbon migration; Shahejie Formation; Dongying Sag; Bohai Bay Basin

1 地质概况

研究区位于渤海湾盆地东营凹陷南坡东段, 整体呈 NEE 向展布, 自 NW 向 SE 逐渐抬升, 构造上划分为丁家屋子构造带、八面河构造带以及被这 2 个正向复式油气聚集带所夹持的构造鞍部(图 1)。研究区主要发育 NNE 和 EW 向展布的 2 组断裂, 其中 EW 向展布断裂延伸距离较短^[1]。

研究区古近系发育孔店组(E_{1-2k})、沙河街组(E_{2-3s})和东营组(E_3d), 其中沙河街组自下而上分为沙四段、沙三段、沙二段和沙一段; 垂向上发育多套含油层系, 主力含油层系为沙河街组和孔店组。

东营凹陷南坡东段的勘探工作始于 20 世纪 60 年代, 经过近 50 年的勘探, 在八面河构造带发现了八面河油田, 在丁家屋子构造带发现了王家岗油田; 2010 年又在 2 个构造带之间的构造鞍部

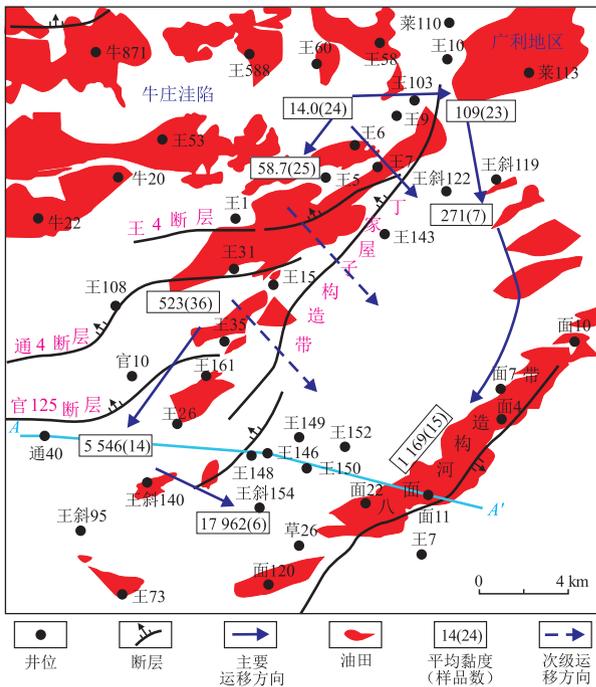


图 1 渤海湾盆地东营凹陷南坡东段原油地面黏度和油气运移方向

Fig.1 Surface viscosity of crude oil and hydrocarbon migration direction in east part of southern slope of Dongying Sag, Bohai Bay Basin

部署钻探了王 146 井,在沙四段钻遇油层 10 层共 31 m;此后部署钻探的王 148、王 150、王 151、王 152、王 154 等井相继获得成功,并发现了沙四段—孔店组深层稠油油藏,从而形成了斜坡带整体连片

含油的趋势。

对原油烃类化学组成的剖析表明^[1],王家岗油田沙河街组原油与邻区八面河油田沙河街组原油特征相似,都具有较高含量的甾烷、伽马蜡烷和脱羟基维生素 E, C₂₇、C₂₈、C₂₉aaa 规则甾烷呈“V”字型分布, Pr/Ph < 1, 甾烷异构化程度不高,咸水湖相原油特征,表明 2 个地区沙河街组原油成因相同、油源相同,这是开展本项研究工作的前提。

2 不同构造带原油特征

通过对丁家屋子、八面河构造带及其之间鞍部的 150 个原油样品的物性分析资料进行统计,发现沙四段原油黏度自牛庄生油洼陷沿运移方向逐渐增加,但不同构造单元原油黏度的变化却存在差异(表 1),表现出构造鞍部(王 146 井区)的原油黏度高于低部位的丁家屋子构造带和高部位八面河构造带的特点^[2]。

2.1 牛庄洼陷

牛庄洼陷是东营凹陷的主要生烃洼陷之一,沙四上亚段烃源岩生成的油气在邻近的砂体或经过短距离的运移在圈闭中聚集成藏,具有自生自储的特点,油藏埋深在 3 000~3 400 m 之间。王 60、王 9、王 58、王 588 等井沙四上亚段原油黏度均低于 20 mPa·s,凝固点在 30 °C 以下,属于正常原油(表 1)。

表 1 渤海湾盆地东营凹陷南坡东段及周缘沙四段原油物性特征统计

Table 1 Physical properties of crude oil in Es₄ in east part of southern slope and adjacent area of Dongying Sag, Bohai Bay Basin

地区	次级单元	井名	埋深/m	密度/(g·cm ⁻³)	地面原油黏度/(mPa·s)	凝固点/°C	含硫量/%
牛庄洼陷	洼陷东缘	王 9	3 096.10	0.866 3	10.0	29	0.30
		王 58	3 019.15	0.870 4	15.6	28	0.49
丁家屋子构造带	王 4 断层北	王 1	2 904.40	0.887 9	29.3	37	0
		王 5	2 825.10	0.898 0	76.8	35	0.53
		王 6	2 897.00	0.900 3	58.5	31	0.48
	官 125 断层北	王 15	2 559.00	0.943 8	2 600.0	29	2.19
		王 91	1 403.30	0.927 0	442.0	14	2.23
		通 32	1 940.50	0.940 7	1 663.0	21	3.18
官 125 断层南	王斜 95	1 563.45	0.944 2	1 829.0	10	3.33	
	王 19	1 985.10	0.995 0	8 954.0	23	3.66	
构造鞍部	王 143 区块	王 18	1 665.10	0.946 3	1 841.0	21	2.96
		王斜 122	2 742.45	0.884 8	37.5	28	0.86
	王 146 区块	王 143	2 798.20	0.938 0	100.0	34	0.64
		王 148	1 748.50	0.976 8	19 902.0	15	4.25
		王 150	1 462.90	0.985 7	16 512.0	7	3.26
八面河构造带	面 4 区块	王 146	1 735.00	0.967 0	17 307.0	18	3.06
		面 10	1 561.55	0.952 8	933.0		2.08
		面 4	1 367.15	0.948 5	534.0	-2.5	1.26
		面 7	1 446.20	0.956 3	1 843.0		0.96

2.2 丁家屋子构造带

丁家屋子构造带位于牛庄洼陷的东侧,来自牛庄洼陷的油气经过短距离的运移即在该构造带富集成藏^[1-4]。根据原油性质的差别,以王4断层和官125断层为界,将丁家屋子构造带划分为3个部分(图1)。北部王4断层以北地区紧邻牛庄洼陷,油气运移距离最短,地面原油黏度相对较低,王5、王6等井的原油地面黏度在80 mPa·s以下,属于正常原油;向南至王4—官125断层之间的地区,随着埋深的变浅(2 000~2 500 m),地面原油黏度明显升高,平均为523 mPa·s,最高可达2 600 mPa·s;至官125断层以南,沙四段油藏埋深在1 500~2 000 m,地面原油黏度迅速增高,平均达到5 546 mPa·s,最高达16 736 mPa·s,已演变为重质超稠油(表1)。

2.3 构造鞍部

目前发现了南、北2个油气富集区。南部的王146地区沙四段油气藏埋深为1 500~1 800 m;6口井原油物性资料表明,原油具有高密度、高黏度等特征。原油密度为0.966 0~0.985 7 g/cm³,平均为0.976 1 g/cm³;50℃下脱气原油黏度为13 497~22 276 mPa·s,平均为17 962 mPa·s,为超稠油特征(表1)。

北部王143区块与丁家屋子构造带北部地区相似,沙四段油藏埋深2 700~2 800 m,地面原油黏度相对较低;王112、王119、王143等3口井的原油黏度均在100 mPa·s以下,7个样品的原油平均黏度为271 mPa·s,基本属于常规原油(表1)。

2.4 八面河构造带

该构造带沙四段原油密度表现出一定的差异性^[5-7],北部面10、面4、面7井的原油黏度低于2 000 mPa·s;向南至面120井原油黏度达到3 523.9 mPa·s,15个样品的平均黏度为1 169 mPa·s。总体而言,八面河构造带上的原油均属于常规稠油的范围(表1)。

3 问题的提出与地质成因推断

通常情况下,原油自生烃区向聚集区长距离运移聚集的过程中,由于自身的分异和水洗、生物降解等作用,表现出距油源越远、原油越稠的现象^[6-10]。

前人研究表明,丁家屋子构造带、八面河构造带沙四段油藏的原油主要来自牛庄洼陷的沙四上亚段烃源岩,少量来自沙三段烃源岩^[11-12]。牛庄洼陷沙四上一沙三段烃源岩生成的油气,在向研究区运移聚集的过程中,依次在丁家屋子构造带、构

造鞍部和八面河构造带聚集成藏,但不同构造带的原油性质没有表现出依次变稠的特点,而是表现出中间区带油稠、向高低两侧区带变稀的特征。

对于不同构造带稠油的成因,前人做了大量的研究工作^[1,5,13],但将南坡东段不同构造单元作为一个整体,这种超越常规的原油物性特征是如何形成的?徐伟等^[2]提出了不同运移路径降解作用不同的观点。笔者在分析前人成果的基础上,根据对不同构造带原油地化参数和成藏地质条件的研究,认为油气自丁家屋子构造带到八面河构造带运移的过程中,可能存在“高速刹车”效应,进而提出了原油运移过程中可能存在“高速刹车”稠化机理的新认识。

所谓的“高速刹车”效应是“蝴蝶效应”在高速公路上的具体表现形式。即如果驾驶人任意变换车道或踩下刹车,都有可能致后方车辆行驶缓慢、追撞乃至交通堵塞。笔者也曾注意到,当高速公路上的某个地方发生“刹车效应”时,该路段上的车辆就会行驶缓慢甚至发生交通堵塞;而后方的车辆源源不断地向前正常行驶,直至蜗行拥堵;而勉强通过发生拥堵路段的车辆,能够快速恢复正常行驶的大部分都是小型车辆。

那么,油气在从源岩到圈闭的运移过程中,由于地质条件的变化,在运移路径上也可以发生“高速刹车”效应。利用“高速刹车”效应可以很好地解释研究区油藏原油性质的差异性。

如果把从牛庄洼陷到八面河构造带的油气运移路径比作一条高速公路,油气从牛庄洼陷出发,在丁家屋子构造带发生第一次轻微的“刹车效应”(聚集成藏),原油黏度有所提高,大车(长链分子)、小车(短链分子)继续前行;到达鞍部的王146地区,由于地质因素的改变,再次发生“刹车效应”,形成油气藏(大车行驶缓慢、甚至堵车),由于圈闭封堵条件的改变,油气发生渗漏,短链分子(小车)穿过断层(拥堵区)继续前行,到达八面河构造带(高速路的终点),并发生短链烃的聚集成藏。

利用这种“高速刹车”效应,可以很好地解释构造鞍部的原油黏度比高部位八面河构造带高的现象;也可以解释构造鞍部王146区块富集成藏的地质原因。

4 “高速刹车效应”存在的地质条件

“高速刹车”效应可以解释不同区带原油性质的成因,但研究区是否存在发生“刹车效应”的地质条件和“刹车效应”发生后的地球化学证据呢?

地质条件的改变如输导砂体厚度变薄、地层倾角变缓、地层压力变小等都可以引起油气运移过程中的“刹车效应”。

砂体由厚变薄相当于高速路由宽变窄,油气运移通道就会变窄;地层由陡变缓相当于高速路由平缓变为上坡,也会引起以浮力为主要运移动力的油气分子运移速度变缓,导致油气运移过程中“刹车”效应的发生。

4.1 砂体厚度由厚变薄

砂体厚度的变化,相当于高速公路车道数量的变化。由研究区沙四上亚段纯下3砂组油层等厚图(图2)来看,该砂体以王146—王斜98井区砂体最厚(大于12 m),向低部位的丁家屋子和高部位的八面河构造带砂体明显变薄(小于5 m)。由此可以想象,油气从王146—王斜98井区向高部位的八面河构造带运移的过程中,由于砂体向高部位的快速减薄,势必造成油气运移速度的大幅度降低,导致油气在运移过程中出现“高速刹车”效应;其他砂组也存在变薄的现象。

4.2 地层倾角由陡变缓

从南坡东段近垂直于3个构造带的油藏剖面来看(图3),王146井区所处的构造鞍部构造等值线较丁家屋子构造带和八面河构造带都要稀疏,说明从丁家屋子构造带到构造鞍部的地层倾角明显变小。这种地层倾角的变小,可以导致以浮力为主要运移动力的油气分子的运移阻力加大,运移速度变慢,也可以出现油气运移过程中发生“高速刹车”效应。

4.3 异常压力由强变弱

异常压力是油气运移的外在动力。前人对研究区及周围的压力场进行过研究^[14-16],据王福

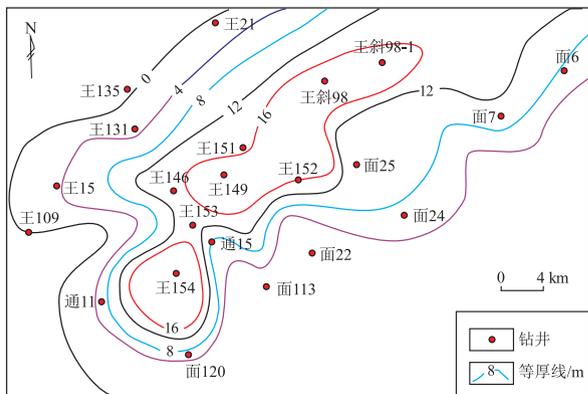


图2 渤海湾盆地东营凹陷南坡东段沙四上亚段纯下3砂组含油砂体厚度

Fig.2 Oil-bearing sand body isopach map of third sand group in upper Es_4s in the eastern part of the southern slope of Dongying Sag, Bohai Bay Basin

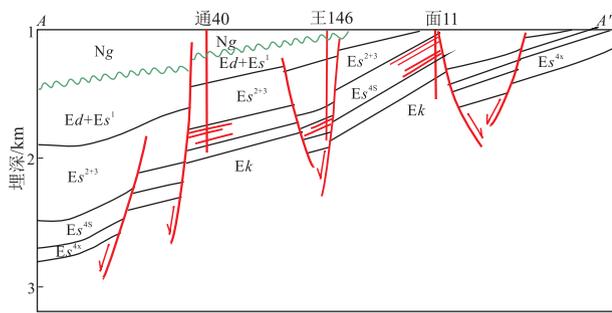


图3 渤海湾盆地东营凹陷南坡东段近EW向油藏剖面剖面位置见图1A-A'。

Fig.3 Reservoir profile with a nearly EW direction in eastern part of the southern slope of Dongying Sag, Bohai Bay Basin

勇^[14]研究认为,东营凹陷异常压力出现的顶面深度为2 500 m,异常压力和浮力是油气运移的主要动力;而2 500 m以浅基本是正常压力,只有浮力是油气运移的动力。从异常压力分布来看,丁家屋子构造带王4断层以北、构造鞍部北段的王143地区,油藏埋深都在2 500 m以下,异常压力的存在是油气快速运移的主要原因,原油属于正常黏度;而丁家屋子构造带王4断层以南、构造鞍部南段的王146地区、八面河构造带都属于常压区,油气运移以浮力为主,运移速度明显变缓。这种运移动力由强变弱的转换,也是发生“高速刹车效应”的地质主因之一。

5 “刹车效应”存在的地化证据

当油气运移过程中以层析作用为主时,随着运移距离的增加,烷烃含量和 $\Sigma C_{21-}/\Sigma C_{22+}$ 值随之增大,而主峰碳数和烷烃 $\delta^{13}C$ 值则减小。为了寻找“高速刹车效应”存在的地化证据,笔者统计了不同构造区带原油烷烃色谱图中的主峰碳和 $\Sigma C_{21-}/\Sigma C_{22+}$ 等地化参数(表2),分别表示“最集中的车型”和“大、小车辆的集中程度”。

5.1 主峰碳数的差异

主峰碳数即一组色谱峰中的质量分数最大的正构烷烃碳数。此值可表示岩样中有机质或油样中烃类的轻重、成熟度和演化程度。主峰碳数值小(小型车)的烃类较轻、成熟度和演化程度高;反之则表示长链烃(大型车)为主。

根据主峰碳数统计来看,牛庄洼陷沙四段油藏埋深超过3 000 m,原油主峰碳为 C_{18} ,可能与成藏后的热演化有关(笔者统计了济阳拗陷多口井的热蒸发烃色谱资料,发现在同一口井中,随着埋藏深度的加大,主峰碳发生明显的迁移,如高斜98井3379.00~3381.00 m井段原油主峰碳为 C_{25} ,而

表 2 渤海湾盆地东营凹陷
南坡东段及周缘原油典型地化特征

Table 2 Typical geochemical parameters
of oils in Es₄ in the eastern part of the southern
slope of Dongying Sag, Bohai Bay Basin

地区	井号	层位	Pr/Ph	主峰碳	$\Sigma C_{21-}/\Sigma C_{22+}$
牛庄洼陷	王 58	E ₂₋₃ s ⁴	0.41	C ₁₈	1.00
丁家屋子	王 26	E ₂₋₃ s ⁴	0.13	C ₂₄	0.32
丁家屋子东	王斜 122	E ₂₋₃ s ⁴	0.30	C ₂₄	0.71
王 146 地区	王 148	E ₂₋₃ s ⁴	0.18	C ₂₄	0.79
	王 149	E ₂₋₃ s ⁴	0.22	C ₂₄	0.58
八面河地区	面 14				1.08
	面古 3	E ₁₋₂ k	0.79	C ₁₇	1.15
	面 23-2	E ₂₋₃ s ⁴	0.28	C ₁₇	1.69
	面 14-8-5	E ₂₋₃ s ⁴	0.42	C ₁₇	0.86

3 564.90~3 528.00 m、3 859.5~3 865.5 m 井段原油主峰碳已前移至 C₁₈；不同地区主峰碳发生前移的深度不同)。丁家屋子和王 146 地区沙四段(埋深在 2 500~1 500 m)原油主峰碳为 C₂₄；而八面河地区沙四段(埋深在 1 000~1 500 m)原油主峰碳为 C₁₇，显然这不是成藏后热演化的结果，而是运移过程中的分异作用导致短链烃相对富集造成的。

从牛庄洼陷到八面河构造带，遵循了“高速刹车”效应，即在丁家屋子构造带和王 146 地区，大车(长链烃)行驶缓慢，发生堵车(成藏)现象，形成高碳数烃类的聚集；而堵车现象发生后，小车(短链烃)克服阻力继续前行，到达八面河构造带后聚集成藏，形成低碳数烃类的富集。

5.2 $\Sigma C_{21-}/\Sigma C_{22+}$ 的差异性

$\Sigma C_{21-}/\Sigma C_{22+}$ ，即一组色谱峰中，C₂₁ 以前烃的质量分数总和与 C₂₂ 以后烃的质量分数总和之比。该参数若大于 1，说明短链烃(C₂₁ 以前)占优势；若小于 1，说明长链烃(C₂₂ 以后)占优势。相当于高速路上车辆大、小的集中程度。

根据 3 个构造带 $\Sigma C_{21-}/\Sigma C_{22+}$ 的统计数据(表 2)，丁家屋子构造带、王 146 地区等沙四段原油的 $\Sigma C_{21-}/\Sigma C_{22+}$ 比值均小于 1，说明长链烃(C₂₂₊)占优势，相当于高速路上这一路段的大车比小车要多；而在八面河构造带，该值明显大于 1，说明短链烃(C₂₁₋)占优势，相当于高速路上这一路段的小车比大车要多。

这组数据也表明了油气运移至王 146 地区以后，发生了“高速刹车”效应，导致短链烃脱离王 146 地区继续向构造高部位运移，并在八面河构造带富集成藏。

5.3 降解作用的差异

原油降解作用的强弱表现在 2 个方面：一是经

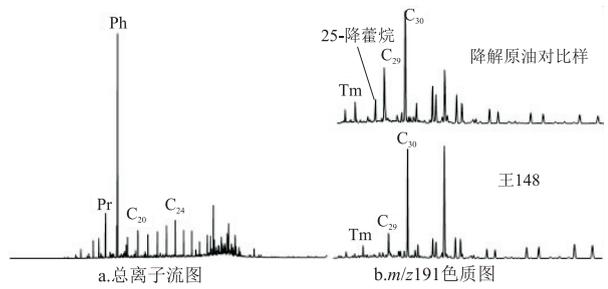


图 4 渤海湾盆地东营凹陷南坡东段王 148 井原油
(1 746.10 m)总离子流图及 m/z 191 色谱—质谱图

Fig.4 Total ion chromatogram and m/z 191 mass fragmentograms of oil from well Wang 148 (1 746.10 m) in the eastern part of the southern slope of Dongying Sag, Bohai Bay Basin

历强烈生物降解作用的原油族组成与化学成分会发生变化；二是遭受强烈生物降解作用的稠油油藏，上方均发育浅层气藏，如济阳坳陷草桥、孤岛、林樊家、三合村等，亮点气藏与稠油油藏相互依存^[17-19]。前人研究表明，王 146 地区以及八面河油田的原油都经历了生物降解作用^[2,13]，但以上 2 个地区目前均未钻遇稠油油藏上方的浅层天然气藏。综合分析认为，油气沿着丁家屋子构造带向高部位运移的过程中，随着埋深变浅和断裂活动，油气发生了降解，在运移至王 146 区块之前已经稠化^[13]，而不是成藏后的降解或者是成藏后降解作用较弱。

王 146 井区的原油化学组分特征也充分证实了这一观点。生物降解作用对正构烷烃、异构烷烃乃至芳烃等组分有不同程度的影响，如遭受降解的原油往往具有较高碳数的正烷烃，在色谱分析总离子流图上往往发生基线漂移，另具有较高的 25-降藿烷。以该井区王 148 井为例，该井稠油总离子流图显示的正烷烃分布特征较为正常(图 4)，且 m/z 191 色谱图未发现 25-降藿烷，未经生物降解。

6 结论

(1) 油气运移过程中“刹车效应”，导致了东营凹陷南坡东段构造鞍部王 146 地区沙四段的原油地面黏度较低部位的丁家屋子构造带和高部位的八面河构造带的原油黏度要高。

(2) 砂体厚度、地层倾角和地层异常压力的规律特征为“高速刹车”现象的产生提供了地质条件。

(3) 3 个构造带原油的主峰碳数和 $\Sigma C_{21-}/\Sigma C_{22+}$ 的差异性表明了“高速刹车”聚集模式的合理性。

参考文献：

[1] 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.
- LI Sumei,PANG Xiongqi,LI Guiqiang,et al.Characteristics and significance of the Tertiary oils in the Wangjiagang oilfield in the South Slope of the Dongying Depression, Bohai Bay Basin [J]. *Geochimica*,2005,34(5):515-524.
- [2] 徐伟,宋国奇,王建伟.东营凹陷南坡东段沙四段原油特征及其地质意义[J].油气地质与采收率,2013,20(2):30-33.
- XU Wei,SONG Guoqi,WANG Jianwei.Characteristics of Es₄ oil and geological significance, east part of South Slope, Dong-ying sag [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2013, 20(2):30-33.
- [3] 王圣柱,金强,钱克兵,等.东营凹陷王家岗地区原油地球化学特征及成因类型[J].新疆石油地质,2006,27(6):704-707.
- WANG Shengzhu,JIN Qiang,QIAN Keping,et al.Geochemical characteristics and origin classification of crude oil in Wangjiagang area in Dongying Sag [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*,2006,27(6):704-707.
- [4] 王圣柱,李茂榕,钱克兵,等.东营凹陷王家岗地区原油成因类型及成藏特征分析[J].石油天然气学报,2007,29(6):13-17.
- WANG Shengzhu,LI Maorong,QIAN Keping,et al.Genesis types and accumulation characteristics of crude oil in Wangjiagang area, Dongying Sag [J]. *Journal of Oil and Gas Technology*,2006,29(6):13-17.
- [5] 王建伟,宋书君,李向博,等.东营凹陷南斜坡东段原油的地球化学特征[J].新疆石油地质,2007,28(3):320-323.
- WANG Jianwei,SONG Shujun,LI Xiangbo,et al.Geochemical characteristic of crude oil in eastern part of south slope of Dongying Sag [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*,2007,28(3):320-323.
- [6] 王屿涛,丁安娜,惠荣耀.准噶尔盆地西北缘二叠系稠油地质特征及成因探讨[J].石油实验地质,1997,19(2):158-163.
- WANG Yutao,DING Anna,HUI Rongyao. Discussion on the geochemical characteristics and geneses of Permian viscous oils at the northwestern edge of Junggar Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*,1997,19(2):158-163.
- [7] 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].地质科技情报,2004,23(4):55-58.
- ZHU Fangbing,XIAO Lingli,TANG Xiaoyun.Heavy oil genetic types and oil-source correlation in western depression, Liaohe Basin [J]. *Geological Science and Technology Information*,2004,23(4):55-58.
- [8] 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):1-11.
- HU Jianyi,XU Shubao,CHENG Keming. Geological and geochemical origin of the heavy oil reservoirs in China [J]. *Acta Petrolei Sinica*,1989,10(1):1-11.
- [9] 路俊刚,陈世加,王绪龙,等.严重生物降解稠油成熟度判别: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.
- LU Jungang,CHEN Shijia,WANG Xulong,et al.Maturity study of the strong biodegradation viscous oil; taking the Santai-Beisantai area of Junggar Basin as an example [J]. *Petroleum Geology & Experiment*,2010,32(4):373-376.
- [10] 胡守志,张冬梅,唐静,等.稠油成因研究综述[J].地质科技情报,2009,28(2):94-97.
- HU Shouzhi,ZHANG Dongmei,TANG Jing,et al.Review of the genesis of heavy oil [J]. *Geological Science and Technology Information*,2009,28(2):94-97.
- [11] 庞雄奇,李素梅,黎茂稳,等.八面河油田油气运聚、成藏模式探讨[J].地球科学(中国地质大学学报),2002,27(6):666-670.
- PANG Xiongqi,LI Sumei,LI Maowen,et al.Discussion on petroleum migration in Bamianhe oilfield of Dongying Depression, eastern China [J]. *Earth Science (Journal of China University of Geosciences)*,2002,27(6):666-670.
- [12] 郑亚斌,黄海平,周树青,等.牛庄洼陷—八面河油田油气运移规律[J].油气地质与采收率,2007,14(6):43-46.
- ZHENG Yabin,HUANG Haiping,ZHOU Shuqing,et al.Petroleum migration from Niuzhuang Sag to Bamianhe area [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*,2007,14(6):43-46.
- [13] 李春梅,李素梅,李雪,等.山东东营凹陷八面河油田稠油成因分析[J].现代地质,2005,19(2):279-286.
- LI Chunmei,LI Sumei,LI Xue,et al.Origin of the heavy oils from the Bamianhe oilfield, Dongying depression [J]. *Geoscience*,2005,19(2):279-286.
- [14] 王福勇.东营凹陷南坡异常高压分布与油气运移[J].油气地质与采收率,2008,15(3):43-45.
- WANG Fuyong.The surppressure distribution and oil-gas migration in the southern slope of Dongying Depression [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*,2008,15(3):43-45.
- [15] 刘士林,郑和荣,林舸,等.渤海湾盆地东营凹陷异常压力分布和演化特征及与油气成藏关系[J].石油实验地质,2010,32(3):233-237.
- LIU Shilin,ZHENG Herong,LIN Ge,et al.Distribution and evolution characteristics of abnormal pressure and its relationship with hydrocarbon accumulation in the Dongying Sag of Bohai Bay Basin [J]. *Experiment Petroleum & Geology*,2010,32(3):233-237.
- [16] 李阳,王建伟,赵密福,等.牛庄洼陷沙河街组超压系统发育特征及其演化[J].地质科学,2008,43(4):712-726.
- LI Yang,WANG Jianwei,ZHAO Mifu,et al.Development characteristics of overpressure system of the Shahejie Formation and its evolution in the Niuzhuang Sag, Bohai Bay Basin [J]. *Chinese Journal of Geology*,2008,43(4):712-726.
- [17] 张林晔,李学田.济阳拗陷滨海地区浅层天然气成因[J].石油勘探与开发,1990(1):1-7.
- ZHANG Linye,LI Xuetian.The origin of nature gas in the shallow reservoir in Binhai area in Jiyang Depression [J]. *Petroleum Exploration and Development*,1990(1):1-7.
- [18] 王万春,王传远,刘全友,等.依据原油降解级别判别伴生天然气降解程度[J].天然气地球科学,2007,18(5):703-708.
- WANG Wanchun,WANG Chuanyuan,LIU Quanyou,et al.Distinguishing oil-associated natural gas biodegradation degree based on petroleum biodegradation grade [J]. *Natural Gas Geoscience*,2007,18(5):703-708.
- [19] 王兴谋,张云银,张明振,等.关于济阳拗陷浅层气藏与稠油油藏联合勘探的思考[J].油气地质与采收率,2014,21(5):14-17.
- WANG Xingmou,ZHANG Yunyin,ZHANG Mingzhen,et al.An approach of exploring shallow gas and heavy oil in Jiyang Depression based on their paragenetic relationship [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*,2014,21(5):14-17.