

Orinoco 重油带重油成藏特征

刘亚明, 谢寅符, 马中振, 周玉冰, 王丹丹

(中国石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要:以油气成藏理论为基础,对 Orinoco 重油带的重油成藏条件进行了分析,总结了其成藏特征,预测了未来的勘探方向。重油带处于宽缓的前陆斜坡带,构造活动较弱,发育少量正断层。烃源岩为上白垩统 Guayuta 群浅海相泥岩,沉积厚度大,有机质丰富,生烃潜力大;储层主要为中新统 Oficina 组和渐新统 Merecure 组三角洲相砂岩,砂体呈大范围席状分布特征,在东西方向上厚度展布稳定,向南逐渐变薄,埋藏较浅,胶结程度低,孔隙度高,渗透率高,储集性能优越。重油带的封盖条件多样,封堵层包括储层顶部的区域性盖层和沥青、储层之间的层间泥岩以及储层侧面的下伏前白垩系基岩。圈闭类型以岩性-地层型圈闭为主,断层、不整合和层内砂岩共同构成了原油的运移通道。原油在晚中新世的长距离运移阶段和上新世—更新世的大规模成藏阶段遭受生物降解等作用而变稠。通过对成藏条件的分析,认为重油成藏具有生储盖优越、运移距离长和稠变作用强的特征。重油带的成藏模式为长距离运移降解和大规模集中浅成藏。重油带的重油资源潜力巨大,对其未来勘探,在勘探层位上以 Oficina 组为主,在勘探区带上以西部区带为主,在圈闭类型上以地层相关圈闭为主。

关键词:生物降解;成藏特征;勘探领域;重油;Orinoco 重油带;石油地质学

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Heavy oil accumulation characteristics of the Orinoco heavy oil belt

Liu Yaming, Xie Yinfu, Ma Zhongzhen, Zhou Yubing, Wang Dandan

(PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on the theory of oil and gas accumulation, the heavy oil accumulation conditions and characteristics of the Orinoco heavy oil belt were analyzed, and the exploration direction was pointed out. The Orinoco heavy oil belt is situated in the foreland slope region of low relief. Tectonic activity is weak and several small normal faults are developed in this region. The Upper Cretaceous Guayuta Group neritic shale is the main source rock, which features in large thickness, high abundance of organic matter and large hydrocarbon generation potential. The main reservoirs are sandstones of delta facies in the Miocene Oficina Formation and Oligocene Merecure Formation. They are characterized by large sheet-like distribution, stable thickness in East-West direction but decreasing thickness southwards, shallow buried depth, low degree of cementation, high porosity and high permeability, thus their reservoir properties are supreme. There are multiple seals such as regional cap rocks and bitumen overlying the reservoir, mudstone layers between reservoirs, and the underlying pre-Cretaceous basement at the side of reservoirs. The main trap type is lithologic stratigraphic trap. Fault, unconformity and connected sandstones are the major hydrocarbon migration pathways. Oil became viscous due to biodegradation during the long distance migration in the late Miocene and large-scale accumulation in Pliocene-Pleistocene. The accumulation of heavy oil has the characteristics of excellent source-reservoir-seal combination, long migration distance and strong viscosifying action. The accumulation model of heavy oil is long distance migration and biodegradation, large scale centralized accumulation in shallow reservoirs. Resources potential is huge in the Orinoco heavy oil belt. The Oficina formation is the key exploration target. The western part of the Orinoco heavy oil belt is the major exploration domain. Stratigraphic traps are the key trap type.

Key words: biodegradation, accumulation characteristics, exploration domain, heavy oil, Orinoco heavy oil belt, petroleum geology

收稿日期:2012-09-26;修订日期:2013-04-01。

第一作者简介:刘亚明(1980—),男,博士,沉积与油气地质。E-mail:liuyaming_hw@petrochina.com.cn。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05028);中国石油天然气股份有限公司科技重大专项(2012E-0511)。

在全球常规油气资源日益减少的背景下,非常规油气资源逐渐引起人们的重视。在非常规油气资源中,重油(相对密度小于 20°API)资源占据着最为重要的地位^[1-3]。仅委内瑞拉和加拿大这两个国家的重油可采资源量就达 784×10^8 t,接近整个中东地区的剩余石油可采储量(994×10^8 t)。其中,委内瑞拉 Orinoco 重油带的资源量约 $1\,878 \times 10^8$ t,可采资源量约 242×10^8 t(表 1),且绝大部分处于未开发状态,资源前景广阔^[4-5]。

前人对 Orinoco 重油带的研究偏重于开发层面,如重油的油藏特征、资源规模、开发方式和改质等方面^[3,6-8]。在油气地质层面的研究成果相对较少:或者过于宏观,如对整个东委内瑞拉盆地层面的资源评价及地质和构造特征等方面的研究^[4-5];或者过于微观,如仅研究某一权益区块或特定层段的油气地质特征^[9]。对重油带重油的成藏特征还缺乏深入的认识,对于其如何形成以及稠变作用的发生机制、主控因素等还缺乏系统的研究。

本文从重油成藏角度入手,在对 Orinoco 重油带的成藏条件和成藏机理进行全面分析的基础上,系统总结了其成藏模式和主控因素,探讨了该区重油大规模聚集的原因。

1 区域地质背景

Orinoco 重油带位于 East Venezuela 盆地南部,Orinoco 河以北,东西长约 600 km,南北宽约 40~100 km,面积 $54\,110\text{ km}^2$,自西向东可分为 4 个区块,以 Junin 区块的资源量最大(表 1;图 1)^[10]。

1.1 区域构造背景

East Venezuela 盆地为南美洲资源潜力最大的前陆盆地。受晚白垩世至今加勒比板块与南美板块斜向碰撞的影响,盆地北部构造活动强烈,南部构造活动较弱^[5]。沉积厚度北深、南浅,南部地层逐层超覆于圭亚那地盾。北部边界为 El Pilar 大型走滑断层;西部为 El Bauh 凸起。

表 1 Orinoco 重油带各区块面积及资源量

Table 1 Block area and resources of the Orinoco heavy oil belt

区块	面积/ km ²	总资源量/ (10 ⁸ t)	原油相对密 度/(°API)	采收率/ %	可采资源量/ (10 ⁸ t)
Boyaca	23 610	405	7	9	30
Junin	14 500	793	8~10	17	138
Ayacucho	9 000	340	7.5~18	9	32
Carabobo	7 000	339	8.5~13	12	41
总计	54 110	1 878		13	242

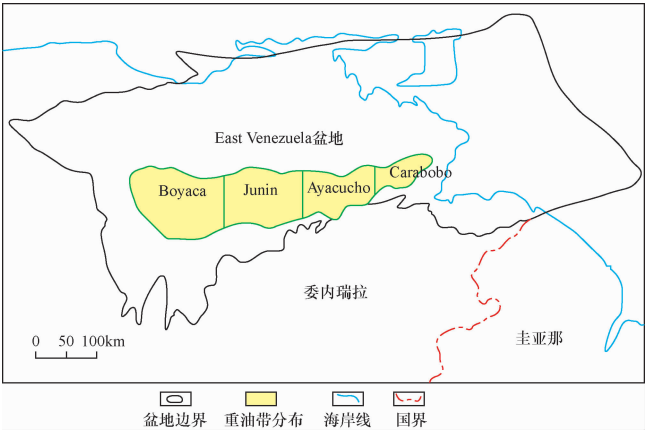


图 1 Orinoco 重油带位置

Fig. 1 Location of the Orinoco heavy oil belt

盆地的构造演化可分为两个阶段:中生代(白垩纪)被动边缘阶段和新生代前陆盆地阶段。被动边缘阶段盆地主要接受海相沉积,形成了盆地主要的烃源岩(上白垩统泥岩);前陆盆地阶段发生板块碰撞挤压和走滑运动,主要接受过渡相和陆相沉积,形成了盆地主要的储、盖层(中新统砂、泥岩),为盆地的主要油气成藏期。

1.2 构造

弱构造活动、断层较少、长期隆升的构造位置为重油成藏提供了良好的成藏场所。由于 Orinoco 重油带处于前陆盆地的斜坡隆起带这一特殊的大地构造位置,为一个向北倾斜($0.5^\circ \sim 4^\circ$)的单斜构造^[9],构造活动较弱,没有大的褶皱。其断裂系统由隆起形成的向上的牵引力与沉积负荷的重力二者共同作用形成,主要发育东西向和东北-西南向两组张性断裂,多为反向正断层,断距多小于 60 m,小规模断层的发育并未改变单斜的整体形态(图 2)。

1.3 沉积地层

重油带的地层和沉积相皆具有一主一次、向南渐变特征。重油带发育的地层以中新统为主;西北部发育上白垩统,厚度较薄。整个重油带的地层呈现出西厚、东薄和北厚、南薄的特征。在东西方向上,以 Hato Viejo 断裂为界,西部古近系覆盖于白垩系之上;东部中新统 Oficina 组直接覆盖于前寒武系基底之上。在南北方向上,北部 Oficina 组超覆于白垩系和前寒武系基底之上,向南地层厚度逐渐变薄,最终在区块范围内尖灭于圭亚那地盾(图 2)。

重油带的沉积以三角洲平原相为主,北部部分地区发育浅海相。物源来自于南部的圭亚那地盾,主要储层为一套海侵背景下的三角洲相沉积体系。重油带有东、西两个沉积中心。西部的沉积中心在 Junin 地区,Oficina 组在该区的沉积厚度最大(可达 1 000 m);

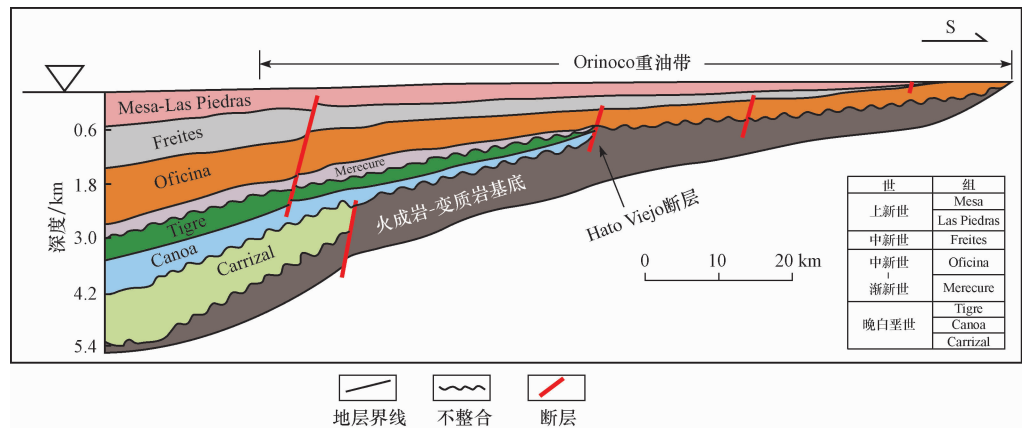


图 2 Orinoco 重油带剖面构造特征
Fig. 2 Structural profile of the Orinoco heavy oil belt

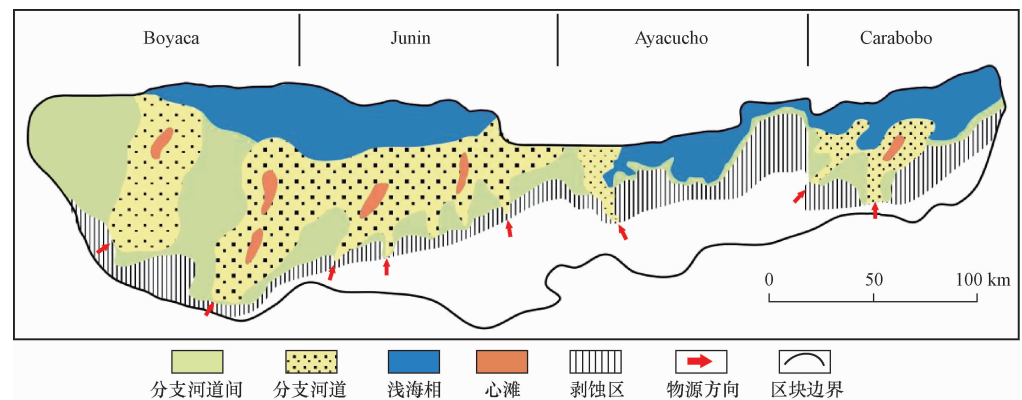


图 3 Orinoco 重油带沉积相(中新世早期)
Fig. 3 Sedimentary facies of the Orinoco heavy oil belt (the Early Miocene)

东部的沉积中心在 Carabobo 地区,而 Ayacucho 地区的沉积厚度则较薄(约 300 m)(图 3)。

2 成藏条件

2.1 优越的烃源岩

重油带为源外成藏,具有优越的油源条件。重油带范围内并无有效的烃源岩,油气全部来自于盆地北部的 Maturin 和 Guarico 凹陷,烃源岩为上白垩统 Guayuta 群(San Antonio 组和 Querecual 组)浅海相泥岩,沉积厚度大,有机质丰富,生烃潜力大。

烃源岩属 II 型和 II - III 型干酪根,总有机碳含量

(TOC) 为 0.25% ~ 6.6%。在 600 ~ 1 100 m 厚的 Guayuta 群中 50% ~ 55% 的层段具有生烃潜力(表 2)^①。

烃源岩在早中新世进入生油窗,在晚中新世进入生气窗。目前,在盆地北部凹陷区该套烃源岩仍处于生油窗;在盆地南部,该套烃源岩不是未成熟就是缺失。

2.2 单一、浅埋藏的优质储层

重油带发育中新统 Oficina 组、渐新统 Merecure 组和上白垩统 Canoa-Carrizal 组 3 套砂岩储层,但重油全部储集于中新统和渐新统,且以中新统 Oficina 组为主^[10]。

Oficina 组形成于三角洲相环境,砂体呈大范围席状分布。在东西方向上,地层厚度展布稳定;在南北方

表 2 Orinoco 重油带烃源岩特征
Table 2 Source rock features of the Orinoco heavy oil belt

群	组	岩性	干酪根类型	总有机碳含量/%	烃指数/(mg · g ⁻¹)	成熟度(R _a)/%	厚度/m
Guayuta	San Antonio	泥岩,少量灰岩	Ⅲ型	0.25 ~ 6.60	2	>0.5	>350
	Querecual	泥岩,少量灰岩	Ⅱ型	0.25 ~ 6.60	5	>0.5	250 ~ 750

① 谢寅符,马中振,刘亚明,等. 全球常规油气资源评价(南美大区). 中国石油勘探开发研究院,2011.

表 3 Orinoco 重油带储层特征

Table 3 Reservoir features of the Orinoco heavy oil belt

地层	主力储层	沉积相	厚度/m	孔隙度/%	渗透率/(10 ⁻³ μm ²)	重油资源量/(10 ⁸ t)	占总资源量比例/%
中新统	Oficina	三角洲	6~107	9~32	18~5 000	1 502	80
渐新统	Merecure	三角洲-浅海	<250	10~30	20~5 000	376	20

向上,向南厚度逐渐变薄,直至尖灭于圭亚那地盾。储层岩性以中粒石英砂岩为主,其次为细砂岩;物性极好,埋藏较浅,胶结程度低,高孔隙度,高渗透率,储集性能优越,尤其以重油带西部、Juin 区块最为有利(图 3;表 3)。

重油带的主力储层顶面埋深在 200~2 000 m。据不完全统计,在重油带,小于 2 000 m 埋深的油藏占总油藏个数的 65%,占总资源量的 97%,浅埋藏特征明显(表 4)。盆地的前陆斜坡带是油气运移的指向区,但由于储层埋深较浅,极易与地表水流接触,因而致使运移至此的油气遭受氧化和生物降解等作用而变稠。

2.3 非构造圈闭为主

重油带位于前陆盆地的斜坡带到隆起带,其所处的构造背景决定了重油带的圈闭类型以岩性-地层型为主,构造型圈闭相对较少。重油带发育 3 类圈闭:岩性-地层型、构造型和复合型圈闭。岩性-地层型圈闭主要为中新统 Oficina 组地层超覆、岩性上倾尖灭或沥青堵塞圈闭,地层型圈闭占较大比重;其次为地层-构造复合型圈闭、反向断层圈闭和透镜状圈闭。所有圈闭类型都已经取得了油气发现(表 5)。

2.4 三重封堵

重油相对常规油气来说具有较重的原油密度(0.90~1.05 g/cm³)、较大的粘度(5 000~10 000 mPa·s)和不宜流动等特点,因而对封堵条件的要求相对较低。

表 4 Orinoco 重油带油藏埋深与资源量关系

Table 4 Relationship between reservoir depth and resource volume of the Orinoco heavy oil belt

油藏顶面 深度/m	油藏		资源量	
	个数	占总油藏数 比例/%	资源量/ (10 ⁸ t)	占总资源量 比例/%
500~0	5	2	169	11.7
1 000~500	35	15	426	29.5
1 500~1 000	61	25	743	51.5
2 000~1 500	54	23	60	4.2
2 500~2 000	25	10	21	1.4
3 000~2 500	19	8	7	0.5
3 500~3 000	41	17	18	1.2
总数	240	100	1 443	100

表 5 Orinoco 重油带圈闭类型

Table 5 Trap types of the Orinoco heavy oil belt

圈闭类型	储集体系	构造位置	实例	
构造型	背斜	三角洲、 浅海相砂体	前渊带、斜坡带	Raya, Dorado
	断层	三角洲、 浅海相砂体	斜坡带	Cunambo
岩性－ 地层型	地层	河流、三角洲 相砂体	斜坡带	Jibarito
	岩性	河流、三角洲 相砂体	前渊带、 斜坡带	Shiviyacu, Sureste
复合型	构造－ 地层	河流、三角洲 相砂体	前渊带、 斜坡带	Shionayacu, San Jacinto
	构造－ 岩性	河流、三角洲、 浅海相砂体	前渊带、 斜坡带	Amazonas

重油带的封堵层包括以下 3 部分:储层顶部的区域性盖层与沥青、储层之间的层间泥岩以及储层侧面的下伏前白垩系基岩。

1) 顶部封堵层

顶部封堵层主要是 Freites 组浅海相泥岩,厚 300~1 000 m,是重油带和盆地的区域性盖层;重油带溢出的重油经过降解而形成的沥青达到一定的分布范围后亦能作为局部盖层,反过来阻止原油的进一步泄漏。

2) 层间封堵层

Oficina 组层间泥岩为重要的层间盖层,在砂体及其发育的储层间,层间泥岩对局部的重油成藏具有直接的封堵作用。

3) 侧向封堵层

重油带的圈闭以地层型圈闭为主,地层逐层向圭亚那地盾超覆,因而侧向封堵至关重要。下伏前白垩系基底主要为致密的火成岩和变质岩,可为地层圈闭提供侧向封堵;同时重油带的断层亦能为断层相关圈闭提供侧向封堵(图 4)。

2.5 长距离运移降解

重油成藏的一个关键因素是稠变作用。稠变作用是石油从生成到成藏过程中所发生的使原油变稠的各种物理化学作用,其最主要的表现形式是使原油的密度变大,粘度增加^[11-18]。

Orinoco 重油带的重油从成因上来说主要是次生重油^[19-24]。原油的稠变作用分别发生于晚中新世原油的长距离运移阶段和上新世-更新世原油的大规模

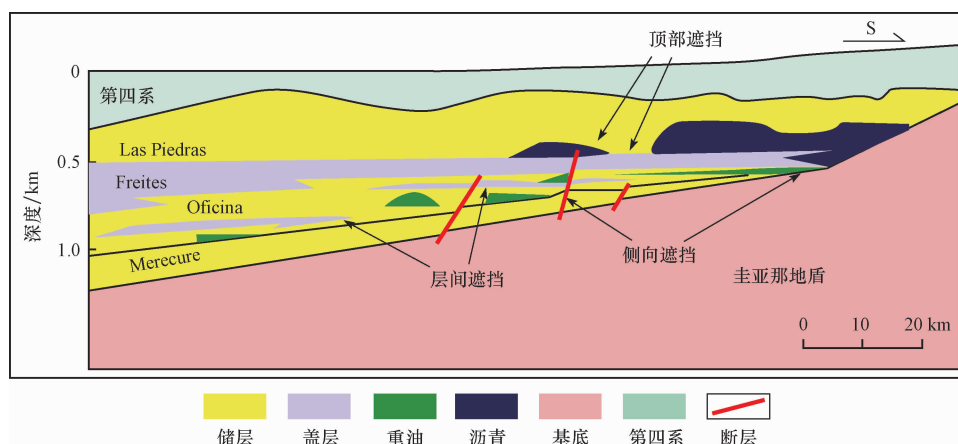


图4 Orinoco 重油带三面遮挡模式

Fig. 4 Three sides sealing model of the Orinoco heavy oil belt

成藏阶段,以运移阶段的稠变作用为主。因为在 Orinoco 重油带,地下蕴藏着巨大规模的重油,但是地表几乎没有油苗,可见其成藏后遭受的破坏作用相对较小,相应的聚集阶段稠变作用也较小。

在晚白垩世一新近纪时期,由于加勒比板块向南美板块的斜向俯冲,形成了安第斯造山运动。在剧烈的构造运动作用下,早期在前渊带和内斜坡带形成的油藏遭受破坏,一方面造成原有圈闭的封闭环境被破坏,随着携带着各种生物、氧气的地表水进入油藏中,导致原油遭受了不同程度的生物降解和氧化作用;另一方面促使原油开始二次或三次运移,在向外斜坡带作长距离运移的过程中,遭受生物降解等稠变作用。根据地化资料分析,本区原油在深度达 1 500 m 时即开始遭受生物降解,一直持续到其运移到重油带聚集成藏^[25-31],遭受降解的距离达 50 ~ 150 km。

生物降解作用在原油的地化特征上表现明显。通过地化分析,重油的 C_{10+} 饱和烃组分的气相色谱显示出绝大多数样品的正链烷烃和异戊间二烯烃都有不同程度的消耗。由于生物降解对饱和烃选择性消耗的缘故,

芳烃组分随深度增大而相对增加,硫含量随饱/芳比的降低而增大(图 5)^[29],反映出砂岩中的生物降解作用相对较强。

长距离运移降解的另一个表现是重油带在平面上原油相对密度和粘度分异特征明显。平面上自北向南,原油相对密度值逐渐减小,由 Junin 区块北部的 20°API 减小到南部的 6°API;原油粘度逐渐增加,由北部的 2 000 mPa·s 增加到南部的 50 000 mPa·s。原因有两方面:一是随着运移距离的增加,原油遭受稠变作用的机会更多,因而逐渐变稠;二是自北向南,Freites 组盖层逐渐尖灭,封盖性能减弱,地表水开始向下渗入 Oficina 组含油层,导致原油遭受氧化作用而变稠,且越向南部氧化作用越强,原油越稠(图 6)。

3 成藏模式

3.1 主控因素

根据以上分析可知,Orinoco 重油带的重油成藏除

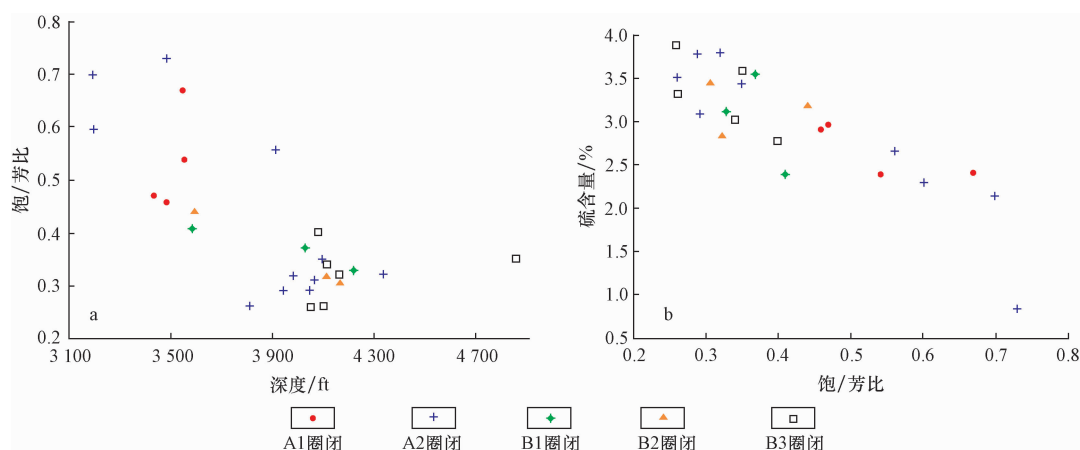


图5 Orinoco 重油带 Ayacucho 区块地化特征

Fig. 5 Geochemical features of Block Ayacucho of the Orinoco heavy oil belt

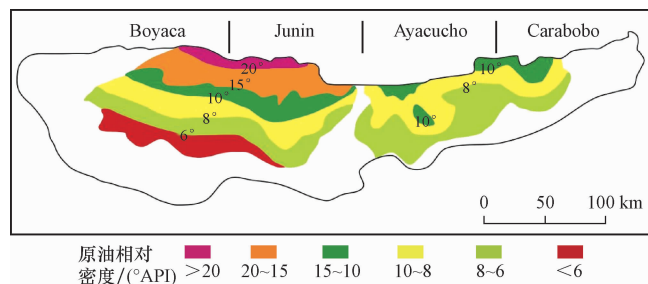


图6 Orinoco重油带原油相对密度分布

Fig. 6 API Gravity distribution of the Orinoco heavy oil belt

除了受常规的油源、运移路径和封堵等因素影响外,还有其大规模成藏的独特主控因素:储层空间位置分布、运移距离和生物降解作用。这3个主控因素控制了该区最终形成了大规模的重油油藏而不是常规油藏。储层分布在前陆外斜坡带,从而导致原油运移到储层聚集需要长距离运移;埋藏较浅的储层和较长的运移距离共同促使了原油进一步地遭受生物降解作用,从而形成了大规模的重油聚集区带。

3.2 成藏模式

Orinoco重油带的重油成藏除了具有一般前陆盆地斜坡带所共有的长距离、多路径、阶梯式成藏特征外,还有其所独有的成藏模式:长距离运移降解、大规模集中浅成藏(图7)。

1) 长距离运移降解

长距离运移降解一是油气从生油凹陷生成并向南作长距离运移,运移距离达100~200 km;二是在运移过程中原油即遭受降解,经历的降解距离长。据分析,原油在1500 m深度即开始遭受生物降解,一直持续到其运移至重油带聚集成藏,遭受降解的距离达50~150 km。

2) 大规模集中浅成藏

大规模集中浅成藏一是重油成藏规模大,整个重油带的重油资源量达 $1\,878 \times 10^8$ t,为世界上最大的整装巨型重油成藏带;二是分布集中,大规模的重油集中分布在盆地南部斜坡带Orinoco重油带这一面积约 5×10^4 km²范围内,含油面积约 2×10^4 km²;三是埋藏浅,重油成藏的深度范围主要集中在200~1000 m之间,埋藏浅为其又一典型特征。

3) 多路径

断层、不整合和中新统连通砂岩共同作为运移通道,接替运油,确保石油能运移到盆地南部斜坡-隆起带这一长期处于正向上升背景的、良好的成藏场所。其中,以断层和不整合为主,连通性砂岩在油气运移过程中亦起到重要作用。从生烃凹陷向斜坡带的原油运移以断层和不整合面为主,自斜坡带向重油带的石油运移以不整合和层内砂岩为主,断层在石油的聚集过程中起贯通储层的作用。上白垩统和中新统-渐新统的高孔、高渗砂岩是油气成藏的优势横向运移路径,古近纪继承性的断裂活动开启了油气垂向运移的通道。

4) 阶梯式成藏

重油成藏具有从深部到中部再到浅层的阶梯式成藏的特征。随着运移距离的增加,原油的性质也随之发生变化,在运移路径上,从凹陷区向重油带,呈现出天然气、常规油和重油依次分布的特征。

4 结论

1) Orinoco重油带的成藏模式为长距离运移降解、大规模集中浅成藏。

2) Orinoco重油带重油大规模聚集的原因是其具

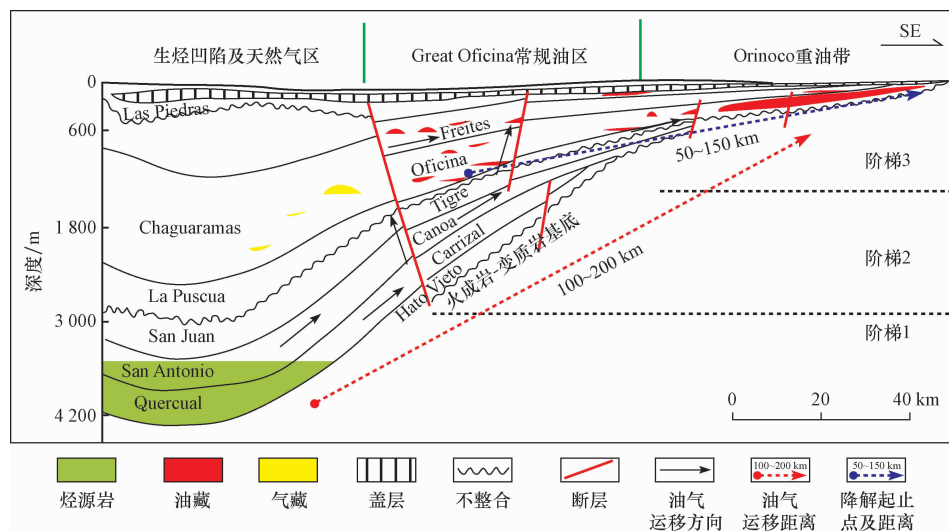


图7 Orinoco重油带成藏模式

Fig. 7 Accumulation model of the Orinoco heavy oil belt

有良好的成藏背景、优越的成藏条件和有利的成藏模式。

3) Orinoco 重油带的重油资源潜力具大,未来的勘探在以下3方面应有所侧重:在勘探层位上,以 Oficina 组为主;在勘探区带上,以西部区带为主;在圈闭类型上,以地层圈闭为主。

致谢:在本文的研究过程中,得到了中国石油勘探开发研究院南美研究所各位同仁的大力支持,在此深表感谢。

参 考 文 献

- [1] Bentley R W. Global oil & gas depletion: an overview[J]. Energy Policy, 2002, 30(3): 189–205.
- [2] 杨辉,顾文文,李文,等. 世界重油资源开发利用现状和前景[J]. 中外能源, 2006, 11(6): 10–14.
Yang Hui, Gu Wenwen, Li Wen, et al. Status & prospect of development & utilization of world heavy oil resources[J]. Sino-Global Energy, 2006, 11(6): 10–14.
- [3] 顾文文,李文. 委内瑞拉重油资源开发现状及前景[J]. 国际石油经济, 2006, 14(5): 28–33.
Gu Wenwen, Li Wen. Status & prospect of development & utilization of venezuela heavy oil resources[J]. International Petroleum Economics Monthly, 2006, 14(5): 28–33.
- [4] 穆龙新,韩国庆,徐宝军. 奥里诺科重油带地质与油气资源储量[J]. 石油勘探与开发, 2009, 36(6): 784–789.
Mu Longxin, Han Guoqing, Xu Baojun. Geology and reserve of the Orinoco heavy oil belt, Venezuela[J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, 36(6): 784–789.
- [5] 穆龙新,韩国庆. 奥里诺科重油带构造成因分析[J]. 地球物理学进展, 2009, 24(2): 488–493.
Mu Longxin, Han Guoqing. Genesis analysis of fault structures in the Orinoco heavy oil belt[J]. Progress in Geophysics, 2009, 24(2): 488–493.
- [6] 杨立民,秦积舜,陈兴隆. Orinoco 泡沫油的油气相对渗透率测试方法[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2008, 32(4): 68–72.
Yang Limin, Qin Jishun, Chen Xinglong. Testing method of oil and gas relative permeability of Orinoco foamy oil[J]. Journal of China University of Petroleum (Natural Science Edition), 2008, 32(4): 68–72.
- [7] 秦积舜,李治平,陈兴隆. Orinoco 地层油的开发特征及组分研究[J]. 现代地质, 2007, 21(1): 145–149.
Qin Jishun, Li Zhiping, Chen Xinglong. Development characteristics of Orinoco oil and components analysis[J]. Geoscience—Journal of Graduate School, China University of Geosciences, 2007, 21(1): 145–149.
- [8] 赵卫红,邹枫. 分支井技术开采 Orinoco 稠油[J]. 特种油气藏, 2000, 7(4): 57–58.
Zhao Weihong, Zou Feng. Recovery the Orinoco heavy oil by the branch wells technique[J]. Special Oil & Reservoirs, 2000, 7(4): 57–58.
- [9] Rojas D E. Geological evaluation of San Diego Norte Pilot Project, Zuata area, Orinoco oil belt, Venezuela[J]. AAPG Bulletin, 1987, 71(10): 1294–1303.
- [10] C & C Reservoirs. Field evaluation report— Latin America, Orinoco heavy oil belt, eastern Venezuela Basin, Venezuela[DB]. 2004.
- [11] 胡见义,牛嘉玉. 中国重油沥青资源的形成与分布[J]. 石油与天然气地质, 1994, 15(2): 105–112.
Hu Jianyi, Niu Jiayu. The formation and distribution of heavy oil and bitumen resource in China[J]. Oil & Gas Geology, 1994, 15(2): 105–112.
- [12] 李秀鹏,于洁. 准噶尔盆地乌夏断裂带稠油类型及成因机理[J]. 断块油气田, 2012, 19(2): 182–186.
Li Xiupeng, Yu Jie. Classification and genetic mechanism of heavy oil in Wuerhe-Xiazijie fault belt, Junggar Basin[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2012, 19(2): 182–186.
- [13] 李伟,梁世君,姜均伟,等. 吐鲁番坳陷鲁克沁稠油油藏形成及演化特征[J]. 石油学报, 2006, 27(6): 14–18.
Li Wei, Liang Shijun, Jiang Junwei, et al. Special migration and accumulation of heavy oil reservoir in Lukeqin area of Turpan Depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(6): 14–18.
- [14] 余琪祥,王津义,路清华,等. 准噶尔盆地车排子凸起铀砂与稠油分布特征及其叠置关系[J]. 石油实验地质, 2010, 32(5): 428–433, 441.
Yu Qixiang, Wang Jinyi, Lu Qinghua, et al. The distribution character and overlapping relationship between uranium and heavy crude oil in Chepaizi Uplift of the Junggar Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2010, 32(5): 428–433, 441.
- [15] 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.
- [16] 席伟军,史翠娥,王学忠,等. 车排子地区春风油田稠油成藏模式[J]. 石油地质与工程, 2013, 25(1): 7–11.
Xi Weijun, Shi Cui'e, Wang Xuezhong, et al. Hydrocarbon accumulation patterns of heavy oil in Chunfeng oilfield, Chepaizi area[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2013, 25(1): 7–11.
- [17] 刘亚明. 重油研究现状及展望[J]. 中国石油勘探, 2010, 15(5): 69–76.
Liu Yaming. Current research situation and prospect of heavy oil[J]. China Petroleum Exploration, 2010, 15(5): 69–76.
- [18] 胡守志,李水福,何生,等. 南襄盆地泌阳凹陷西部稠油地化特征及意义[J]. 石油实验地质, 2010, 32(4): 387–392.
Hu Shouzhi, Li Shuifu, He Sheng, et al. Geochemical characteristics and significance of heavy oils from the west area of Biyang Sag, Nanyang Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2010, 32(4): 387–392.
- [19] 张敏,张俊. 水洗作用对油藏中烃类组成的影响[J]. 地球化学, 2000, 29(3): 287–292.
Zhang Min, Zhang Jun. Effects of water washing on hydrocarbon compositions of petroleum sandstone reservoir in Tarim Basin, NW China[J]. Geochimica, 2000, 29(3): 287–292.
- [20] 帅燕华,宋娜娜,张水昌,等. 松辽盆地北部生物降解成因气及其成藏特征[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(5): 659–670.
Shuai Yanhua, Song Na'na, Zhang Shuichang, et al. Gas of biodegradation origin and their pooling characteristics in northern Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(5): 659–670.

- [21] 才业,樊佐春. 辽河油田边顶水超稠油油藏特征及其成因探讨[J]. 岩性油气藏, 2011, 23(4): 129-132.
Cai Ye, Fan Zuochun. Characteristics and genesis of super heavy oil reservoir with top water and edge water in Liaohe oilfield[J]. Lithologic Reservoirs, 2011, 23(4): 129-132.
- [22] 刘华,蒋有录,龚永杰,等. 东营凹陷新立村油田稠油成因[J]. 新疆石油地质, 2008, 29(2): 179-181.
Liu Hua, Jiang Youlu, Gong Yongjie, et al. Origin of heavy oils in Xinlicun oilfield, Dongying Sag[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2008, 29(2): 179-181.
- [23] 黄永松. 中国辽河油田高蜡原油和重油的成因研究[J]. 地质地球化学, 1995, 23(5): 1-3.
Huang Yongsong. Origin of high wax oil and heavy oil in Liaohe oilfield, China[J]. Geology-Geochemistry, 1995, 23(5): 1-3.
- [24] 李华明. 吐哈盆地火焰山中央隆起带稠油的成因[J]. 新疆石油地质, 2010, 31(2): 131-134.
Li Huaming. Origin of heavy oil in Huoyanshan central uplift belt in Tuha Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2010, 31(2): 131-134.
- [25] 陈世加,姚泾利,路俊刚,等. 储层沥青成因及其对油气运聚的影响——以鄂尔多斯盆地华庆地区长8油层组1砂组为例[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(1): 37-44.
Chen Shijia, Yao Jingli, Lu Jungang, et al. Reservoir bitumen genesis and its impacts on hydrocarbon migration and accumulation: a case study from Chang 81 of Yangchang Formation in Huaqing area, the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 37-44.
- [26] 宋一涛,廖永胜,王忠. 济阳拗陷盐湖沉积环境高硫稠油的特征及成因[J]. 石油学报, 2007, 28(6): 52-58, 65.
Song Yitao, Liao Yongsheng, Wang Zhong. Genesis and characteristics of sulfur-rich heavy oil in salt lake depositional environment of Jiyang Depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(6): 52-58, 65.
- [27] 冯子辉,廖广志,方伟,等. 松辽盆地北部西斜坡区稠油成因与油源关系[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(4): 25-28.
Feng Zihui, Liao Guangzhi, Fang Wei, et al. Formation of heavy oil and correlation of oil source in the western slope of the northern Songliao Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(4): 25-28.
- [28] Hu Ying, Yin Jiquan, Su Yongdi, et al. Geochemistry of heavy oil in the T Block, Oriente Basin and its origin mechanism[J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84(2): 406-414.
- [29] Carmona V, Murillo W, Sanchez J, et al. Geochemical and isotopic study of crude oils from the Orinoco oil belt, Venezuela[OL]. [2013-04-01]. [http://www. searchanddiscovery. com/abstracts/html/2008/hedberg_canada/abstracts/extended/carmona/carmona. htm](http://www.searchanddiscovery.com/abstracts/html/2008/hedberg_canada/abstracts/extended/carmona/carmona.htm).
- [30] 郭永华,周心怀,李建平,等. 渤海海域新近系稠油油藏原油特征及形成机制[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(3): 375-380, 385.
Guo Yonghua, Zhou Xinhui, Li Jiangping, et al. Crude features and origins of the Neogene heavy oil reservoirs in the Bohai Bay[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(3): 375-380, 385.
- [31] 王子强,张代燕,杨军,等. 普通稠油油藏渗流特征实验研究——以新疆油田九4区齐古组油藏为例[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(2): 302-306.
Wang Ziqiang, Zhang Daiyan, Yang Jun, et al. Experimentals study on percolation characteristics of ordinary heavy oil reservoirs: a case study from the Qigu Formation reservoir in Nine-4 Block of Xinjiang oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(2): 302-306.

(编辑 李 军)

《石油与天然气地质》加入中文 DOI

《石油与天然气地质》从2013年起与中国科学技术信息研究所签订了“DOI注册与解析链接服务协议”,由该所DOI注册服务中心为本刊提供DOI注册、解析链接及所有增值服务,并对过刊进行DOI注册。《石油与天然气地质》论文DOI号的含义为:前缀/本刊英文缩写+出版年、期、流水号。如:10.11743/ogg20130201表示《石油与天然气地质》2013年第2期第1篇文章。

DOI被誉为“互联网上的条形码”,于2012年5月正式发布为ISO国际标准。“中文DOI”服务的目标是通过与国内外相关机构的合作,在中文数字资源领域推广DOI标准,实现中文数字资源相互链接,以及中西文数字资源的链接与共享,从而使读者及其他用户能够可靠地访问数字资源。目前,全球已有3万余种科技期刊进行了DOI注册并链接到了论文全文,DOI国际标准在期刊数字化与国际化方面的影响越来越不容忽视。

(李 军 供稿)