

Oriente 盆地 D-F 油田泥岩墙成因及其对油藏分布的影响

杨金秀¹, 张克鑫², 陈和平², 卢双舫¹, 万学鹏³, 唐明明¹, 肖佃师¹, 张超前²

[1. 中国石油大学(华东)非常规油气与新能源研究院, 山东 青岛 266580; 2. 中国石油 勘探开发研究院, 北京 100083; 3. 厄瓜多尔安第斯石油有限责任公司, 基多 999165]

摘要:以 Oriente 盆地 D-F 油田 M1-SS 层发育的泥岩墙为研究对象, 利用钻测井和地震资料, 精细刻画泥岩墙在平面和垂向上的分布特征, 从沉积环境和差异压实作用两个方面探讨了泥岩墙形成的控制因素, 并分析了泥岩墙对油田油藏分布的影响。两条泥岩墙均为北西-南东向延伸, 在测井和地震上分别表现为较高的泥质含量和弱振幅反射。研究认为, 泥岩墙对应潮控河口湾环境的混合坪相带, 与周围砂坪、砂坝环境相比泥质含量高, 因此在 M1-SS 经历压实作用时, 会发生差异压实作用, 造成 M1-SS 层厚度在混合坪相带变薄, 甚至在泥岩墙边缘出现微小断裂。另外, 泥岩墙的存在影响了储层的非均质性, 使 M1-SS 层的砂体连续性变差, 对油气横向运移起到了阻挡作用, 将油源断层东侧的油藏分隔成了 5 个油藏。

关键词:差异压实; 地震属性; 潮控河口湾; 泥岩墙; Oriente 盆地; 厄瓜多尔

中图分类号: TE112.1

文献标识码: A

Genesis of mudstone dikes and their impact on oil accumulations in D-F oilfield of Oriente Basin, Ecuador

Yang Jinxiu¹, Zhang Kexin², Chen Heping², Lu Shuangfang¹, Wan Xuepeng³, Tang Mingming¹,
Xiao Dianshi¹, Zhang Chaoqian²

[1. Research Institute of Unconventional Oil & Gas and Renewable Energy, China University of Petroleum (East China), Qingdao, Shandong 266580, China; 2. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China; 3. Andes Petroleum Ecuador Ltd., Quito 999165 Ecuador]

Abstract: Two mudstone dikes formed in the M1-SS layer of D-F oilfield, Oriente Basin, Ecuador, were studied to characterize their vertical and planar distribution based on drilling, logging and seismic data, and to analyze the factors that controlled their formation in respects of sedimentary setting and differential compaction process. Their impact upon the distribution of oil accumulations in the oilfield was also discussed in the paper. Both NW-SE-trending dikes are characterized by higher clay content in well logging and low amplitudes in seismic data. The study suggests that the dikes correspond to hybrid sand-mud flat microfacies in a tide-dominated estuarine environment and have higher clay content than surrounding sand flat and sand bar microfacies. Therefore, after differential compaction, the sand-mud flat ended up with a thinner thickness of M1-SS and even formed tiny faults at the edge of dikes. Besides, the presence of the dikes affected the reservoir heterogeneity and decreased the continuity of the sandbodies in M1-SS, thus blocked lateral migration of hydrocarbons. As a result, the oil accumulation to the east of the source rock-rooted fault was compartmentalized into five small reservoirs.

Key words: differential compaction, seismic attribute, tide-dominated estuarine, mudstone dike, Oriente Basin, Ecuador

收稿日期: 2016-11-10; 修订日期: 2017-10-23。

第一作者简介: 杨金秀(1984—), 女, 博士、讲师, 油气地质和天然气水合物。E-mail: yangjinxiu@upc.edu.cn。

通讯作者简介: 卢双舫(1962—), 男, 教授、博士生导师, 油气地球化学与非常规油气勘探。E-mail: lushuangfang@upc.edu.cn。

基金项目: 国家自然科学基金项目(41406050); 山东省优秀中青年科学家科研奖励基金项目(BS2014HZ001); 中央高校基本科研业务费专项资金(14CX02119A)项目; 中国石油大学科研启动基金项目(2014010570)。

Oriente 盆地是厄瓜多尔最主要的含油气盆地, D-F 油田位于盆地东北部 T 区块的西部区域断层上升盘,向东北方向倾斜^[1-5]。在 D-F 油田中西部,储层 M1 砂岩层(M1-SS)发育两个条带状的“泥岩墙”。泥岩墙的存在对油气运移和成藏具有重要影响,但目前对泥岩墙的成因和发育模式认识不清,存在“断层成因论”、“废弃河道成因论”、“河道间沉积论”和“褶皱构造成因论”等不同认识。另外,基于大量反应潮汐作用的岩心等证据,研究人员普遍认为 D-F 油田 M1-SS 层的沉积背景为潮控的海陆过渡环境,但具体沉积环境认识不统一,主要存在潮控河口湾和潮控三角洲两种认识^[4-11]。

前人研究表明,不同沉积体系之间,以及相同沉积体系的不同相带之间,受构造、沉积物组成及后期成岩作用等因素的影响而使储层的非均质性存在差异^[6,11]。砂岩储层中的内部隔夹层也对油气成藏具有重要的影响,阻止油气向储层高部位运移或者形成局部小型油气藏^[6,12]。在研究区 D-F 油田, M1-SS 层的泥岩墙成因和具体沉积环境、构造背景等有关,泥岩墙的存在对该油田主力储层的非均质性具有重要影响,对本地区的油气成藏过程以及目前的剩余油分布都有一定的影响。因此,认清泥岩墙的成因机制十分重要。

本文以 D-F 油田 M1-SS 层发育的泥岩墙为主要研究对象,利用钻测井和地震资料,精细刻画泥岩墙在平面和垂向上的分布特征。通过对岩性和地震属性等进行分析,探讨沉积环境、差异压实作用等对泥岩墙在三维空间形成和分布的控制作用,并分析了泥岩墙对研究区油藏分布的影响。

1 地质概况

Oriente 盆地位于 Andean 造山带东侧的亚马逊平原区,面积约为 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$,轴向南北向,平行于造山带(图 1)^[3-7]。盆地西陡东缓,沉积地层向东逐渐变薄并且超覆在冈瓦纳地盾上,整体呈一个西厚东薄的楔形^[13-19]。地层由前白垩纪基底和白垩系-古近系沉积地层组成,沉积厚度达 5 000 m 以上^[5,19]。

Oriente 盆地主要经历了 3 个主要的构造演化阶段:古生代被动大陆边缘演化阶段、三叠纪—白垩纪裂陷盆地发育阶段和白垩纪末期—现今的前陆盆地发育阶段^[3,20-26]。在古生代时期,构造活动不活跃,盆地为浅海—陆架环境,以海相沉积为主。在中侏罗—早白



图 1 Oriente 盆地 D-F 油田位置

Fig. 1 Location of D-F oilfield in Oriente Basin

垩世,Chaucha 地体与南美板块的碰撞导致盆地的整体抬升,因此 Hollin 组与下伏地层呈角度不整合接触。白垩纪为裂后热沉降时期,沉积了 Hollin 组和 Napo 海陆交互相地层,为盆地内最主要的含油气层位。晚白垩世以来,太平洋板块的俯冲碰撞使安第斯造山运动开始,盆地进入第三个构造演化阶段,发育前陆盆地,物源方向来自西部造山带,主要为陆相沉积。

D-F 油田位于 Oriente 盆地东北部的 T 区块,主力烃源岩为晚白垩世沉积的 Napo 组泥岩和碳酸盐岩,主要含油层为古近系底部的 Basal Tena 砂岩、白垩系 Napo 组的 M1,U,T 砂岩和 Hollin 组砂岩,以低幅度构造及其控制下的地层岩性圈闭为主(图 2)^[23-26]。本文以 D-F 油田的 Napo 组顶部的 M1-SS 为研究对象,该层沉积于安第斯造山运动发生之前的白垩纪晚期,为一套海陆过渡相沉积地层,物源方向来自东南方向^[2-3,14,19,22]。

2 泥岩墙分布特征

钻测井和地震资料解释分析发现, M1-SS 层在

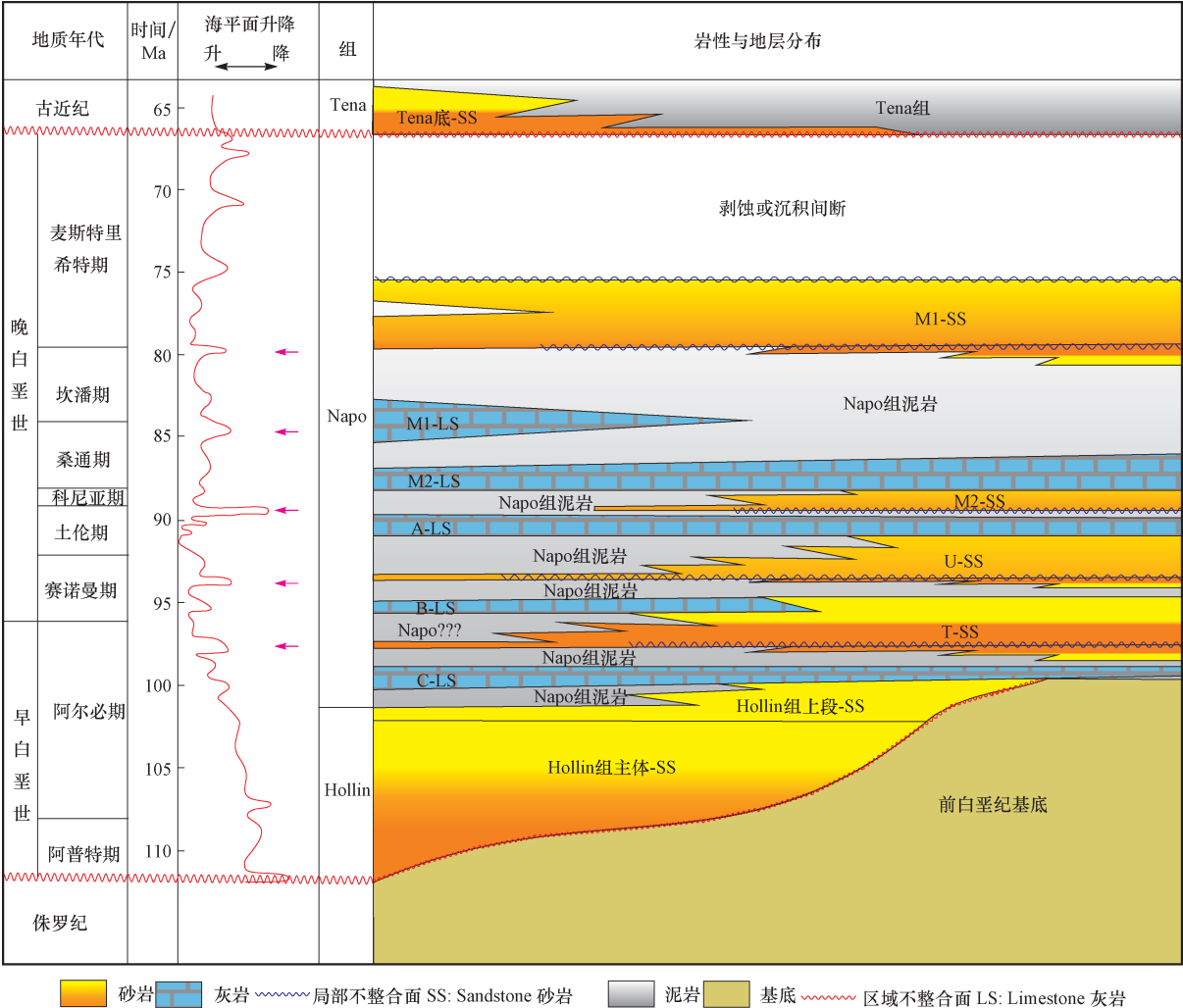


图 2 Oriente 盆地层序地层剖面
Fig. 2 Sequence stratigraphic profile of Oriente Basin

D - F 油田中西部发育两个条带状的“泥岩墙”, 西部的泥岩墙 1 和东部的泥岩墙 2 (图 3)。

2.1 测井和地震响应

通过建立井震时深对比关系, 标定出 M1 - SS 层的顶底分别对应地震剖面上的 H2 和 H3 层位 (图 4)。H2 - H3 时窗内的均方根振幅 (RMS) 属性图显示, 工区内发育两条弱振幅条带, 北西 - 南东向延伸, 条带周边为强振幅反射特征 (图 3c)。通过井震标定对比, 发现弱振幅条带对应的 M1 - SS 层砂岩厚度较薄、泥质含量总体较高的位置; 而强振幅对应的 M1 - SS 层砂岩厚度大、泥质含量低的位置 (图 4)。因此, 称弱振幅条带为“泥岩墙”。通过对比过泥岩墙的连井剖面和地震剖面, 发现 M1 - SS 层以砂岩储层为主, 在泥岩墙内部和靠近泥岩墙的位置, M1 - SS 层的泥质含量增大, 如井 4 和井 5 处。

本次研究还提取了不同的地震属性剖面, 发现瞬

时相位属性刻画泥岩墙的弱振幅效果最好 (图 3b, 4c) [24, 27]。M1 - SS 层整体的瞬时相位属性为代表负值的红色, 在泥岩墙处表现为代表正值的蓝色。在地震剖面上, 除泥岩墙的弱振幅特征外, 还在其边缘位置发现反射轴的微小错动, 可能由微断裂造成 (图 4b)。ESP 属性可以突出地震数据中的构造和地层现象, 识别细微的岩层横向非均一性和断裂特征。因此, 提取了以 H2 层位为中心 20 ms 时窗范围内的相干体 (ESP) 属性。假设该处沉积物的地震波速度是 2 000 m/s, 则该时窗范围相当于 20 m 的厚度。ESP 属性平面图显示了两条高值条带, 范围和 RMS 振幅图上泥岩墙位置重合, 反映了泥岩墙条带边缘位置可能存在较高的地形起伏, 甚至发育微小断裂 (图 4b)。

2.2 平面和垂向分布特征

M1 - SS 层的属性平面图显示, 两个泥岩墙的平面

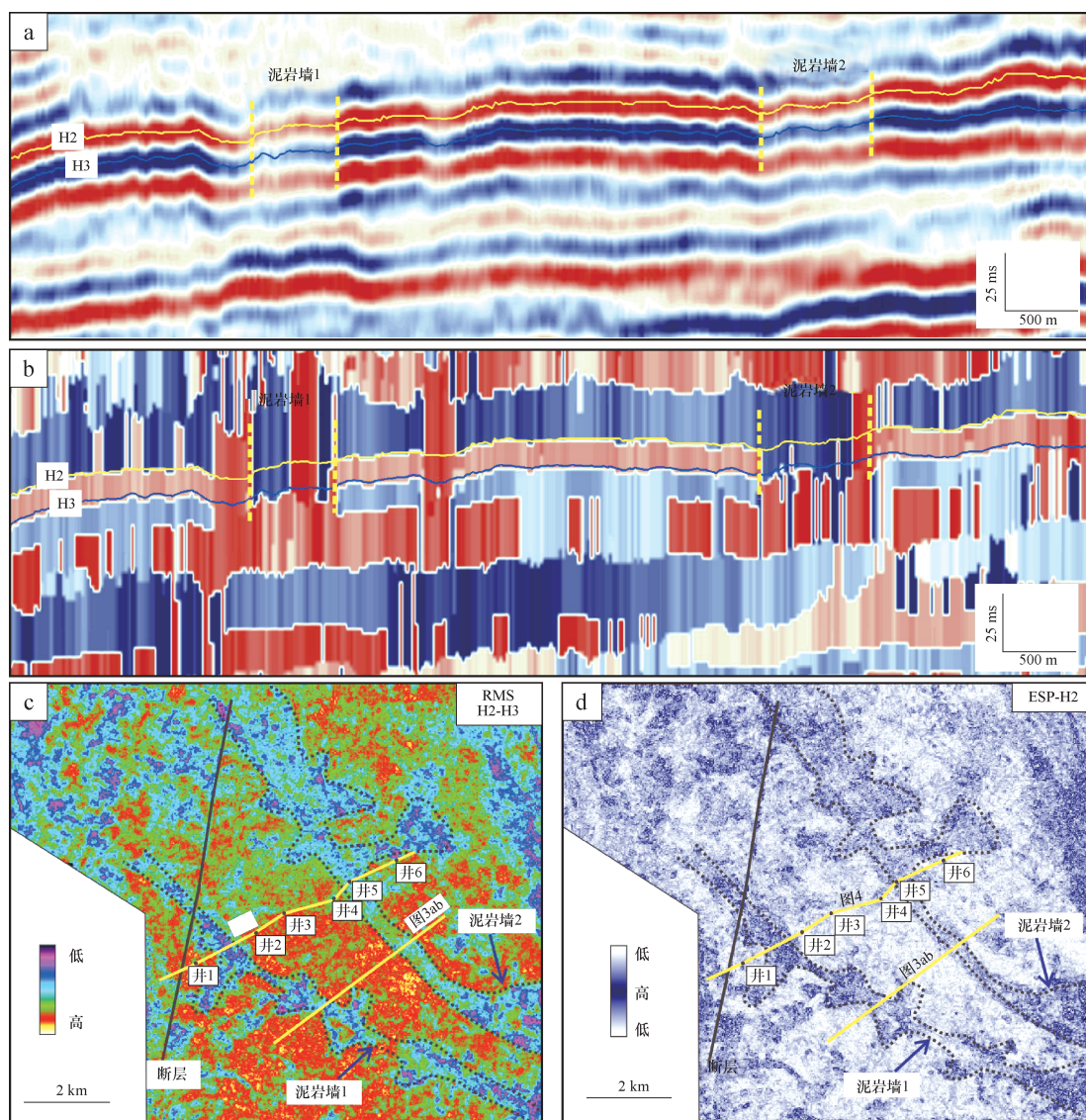


图3 Oriente 盆地 D-F 油田泥岩墙剖面与平面特征

Fig. 3 Vertical and planar distribution of the dikes in D-F oilfield, Oriente Basin

a. 过泥岩墙地震剖面; b. 剖面 a 的瞬时相位属性剖面; c. H2-H3 层位间 RMS 属性平面; d. H2 层位 ESP 属性平面

延伸方向均为北西-南东向。其中,西部泥岩墙1的延伸长度约为17.5 km,面积约15.6 km²;东部泥岩墙2的延伸长度约为18.3 km,面积约28.5 km²。两个泥岩墙的形状不规则,宽度变化范围约为300~3 000 m。为了研究泥岩墙在垂向上的发育层位,除H2和H3外,还解释了其他3个层位,H1,H4和H5(图4)。其中,H5层位对应的是M1-LS的顶部。通过制作不同时窗范围的RMS属性图,发现泥岩墙在H1层位到下部10 m的范围内不发育,在H3层位到下部5 m的范围内发育,在分别以H4和H5为中心的20 m范围内也不发育。综上,认为泥岩墙在垂向上的发育范围主要是M1-SS层以及下部的Napo组泥岩顶部。

3 泥岩墙控制因素

3.1 沉积体系的控制作用

通过对泥岩墙的测井和地震特征进行分析,发现泥岩墙对应砂岩厚度较薄,泥质含量较高的位置,在平面上呈条带状分布,岩性的这种变化应该与当时的沉积环境有关。泥岩墙发育的层位形成于晚白垩世,属于裂后热沉降阶段,当时安第斯造山运动尚未开始,因此物源可能来自于东部或东南部^[3,5]。通过岩心观察、单井取心段沉积相以及测井资料分析,并结合砂体厚度图和地震属性平面图等综合分析认为,M1-SS层为潮控河口湾沉积(图5)^[3-12,28-31]。泥岩墙平面上的

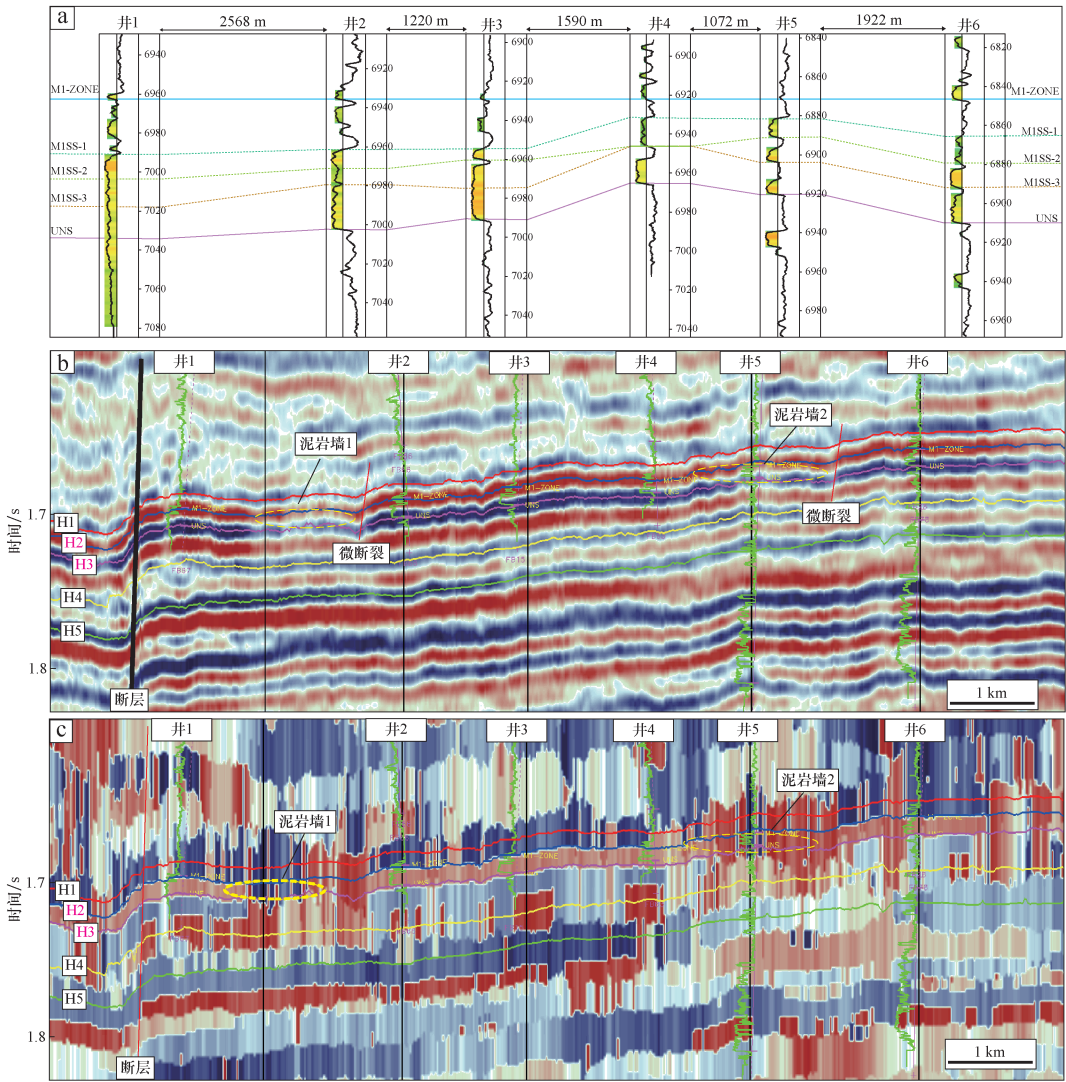


图 4 Oriente 盆地 D - F 油田过泥岩墙剖面

Fig. 4 Vertical profiles across the mudstone dikes in D-F oilfield, Oriente Basin
a. 连井剖面; b. 地震剖面; c. 瞬时相位属性剖面

北西 - 南东向展布, 与研究区潮控河口湾混合坪的相带展布方向相一致。泥岩墙的平面分布正好对应于测井显示垂向泥岩较发育, 而砂体相对较薄的位置 (图 4)。砂岩厚度等值线图显示泥岩墙位置对应的砂岩厚度较低 (图 5a)。在沉积微相平面分布图上, 泥岩墙发育位置对应潮控河口湾的混合坪相带, 泥质含量较周边砂坪、砂坝等沉积相带相对较高 (图 5b)。

3.2 差异压实作用

沉积物堆积后将经历压实作用, 经过压实, 泥质沉积物的孔隙度一般从 80% 降到 10% 以下, 其厚度也大大减薄, 而砂质沉积物的孔隙度一般从 50% 降到 20%, 厚度变化较泥质沉积物不明显^[32]。且一旦地层抬升或顶部负荷减小, 砂质沉积物可恢复一定的形变,

而泥质沉积物属塑性变形, 形变不能复原^[32]。因此, 泥质沉积物和砂质沉积物在压实过程中孔隙度和厚度减薄的变化差异十分明显, 而这种差异压实作用将影响和控制沉积体系的展布、油气运移、油藏分布等。

在本研究区, M1 - SS 层顶部的 ESP 属性图显示, 泥岩墙边缘可能存在微小断裂, 可能受差异压实作用控制^[32]。在 M1 - SS 沉积时期, 混合坪相带和周边的砂坪、砂坝相带相比, 砂泥比存在明显的不同。当上覆沉积物堆积下来以后, M1 - SS 层开始经历压实作用, 砂泥比高的砂坪、砂坝相带原始厚度变化小, 而砂泥比低的混合坪相带原始厚度变化较大, 因此造成了同一沉积层在不同地区的厚度出现明显差别, 混合坪相带地区的厚度相对于其他地区变薄 (图 6)。

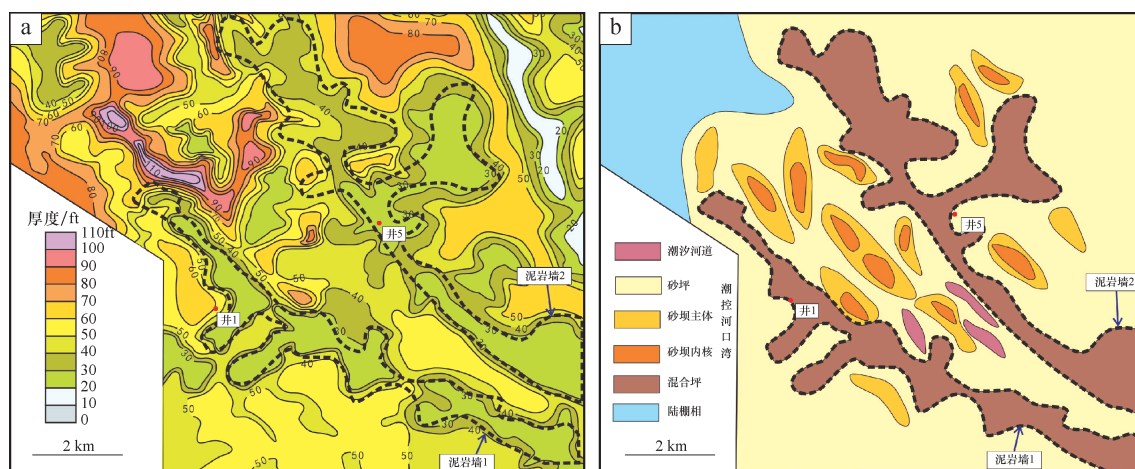


图5 Oriente 盆地 D-F 油田泥岩墙平面分布与 M1-SS 层砂厚和沉积微相的空间关系

Fig. 5 Plane distribution of the dikes and their spatial relationship with M1-SS thickness and sedimentary microfacies in D-F oilfield, Oriente Basin

a. M1-SS 层砂岩厚度等值线; b. M1-SS 层沉积微相

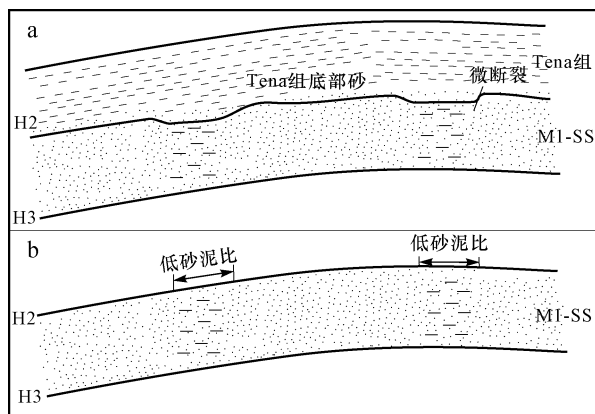


图6 Oriente 盆地 D-F 油田泥岩墙形成模式

Fig. 6 Genetic model of the dikes in D-F oilfield, Oriente Basin

a. 压实前; b. 压实后

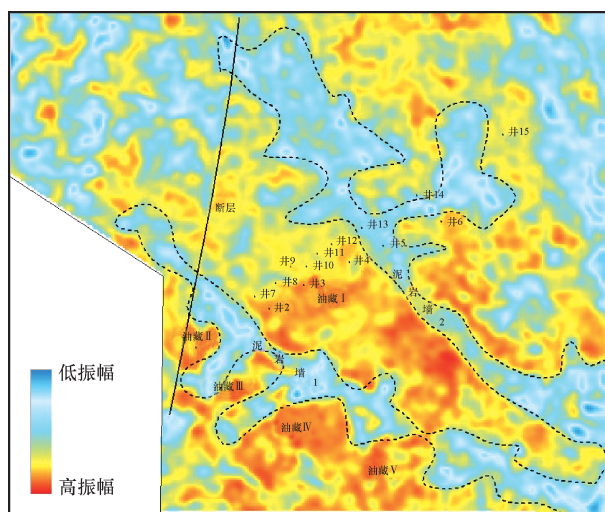


图7 Oriente 盆地 D-F 油田油藏平面分布特征

Fig. 7 Plane distribution of oil reservoirs in D-F oilfield, Oriente Basin

压实作用发生之后,晚中新世-上新世期间,碰撞和挤压运动达到最大,盆地发生隆起和剥蚀作用^[3]。由于 M1-SS 层之上的沉积物载荷减少,压实作用削弱。此时,泥质含量较高的地区,由于属塑性变形,压实作用造成的地层厚度不能复原;而泥质含量较低的地区,由于砂体是弹性体,由压实作用引起的地层厚度变化可以部分复原^[32]。这种“复原”现象使差异压实作用导致的 M1-SS 层的厚度及横向均质性差异进一步明显,表现出“泥岩墙”的特征,进而影响沉积体系的展布和油藏分布等。

4 泥岩墙对油气成藏的影响

前人研究表明,M1-SS 层作为 Oriente 盆地 D-F 油田的主力油层,其油气主要来自底部 Napo 组早中期沉积的泥岩^[1-3,13-19]。由于断层上升盘构造位置比较高,且侧向封闭能力比下降盘强,一般情况下油气优先在断层上升盘充注^[33]。因此,Napo 组烃源岩的油气生成后,首先沿位于工区西部的主干断层(油源断层)垂向运移,到达良好储层 M1-SS 层后沿渗透性砂体进行侧向运移,主要富集在断层东侧的上升盘。在油气富集的断层东侧上升盘,泥岩墙的存在使 M1-SS 储层的砂体连续性变差,对油气横向运移起到了隔挡作用。

受油源断层和泥岩墙分布的影响,工区内的 M1 油藏可细分为 5 个小油藏,主要为岩性(包括砂岩透镜体和砂岩上倾尖灭)及构造-岩性油藏(图 7)。受后期的挤压构造运动,该层低幅度背斜圈闭也较为发育。

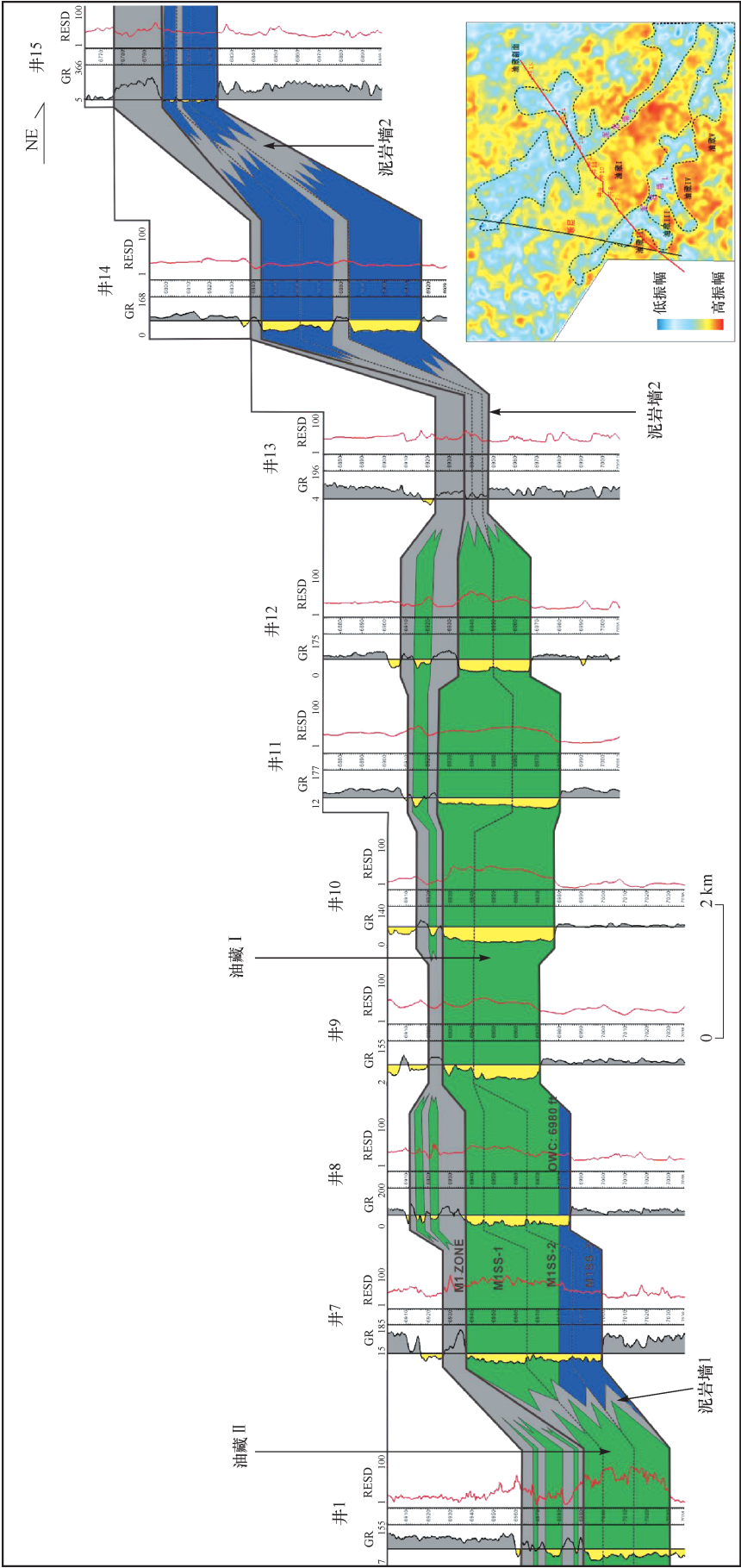


图8 Oriente盆地D-F油田过泥岩墙油藏剖面
Fig. 8 Cross section of oil reservoirs across the dikes in D-F oilfield, Oriente Basin

其中,主力油藏 I 面积最大,约 32 km²,位于工区中部,总体呈条带状分布,方向为北西-南东,为 M1-SS 层的砂坪、砂坝沉积。油藏剖面显示,主力油藏 I 受油源断层和 2 个泥岩墙的双重控制,为构造-岩性油藏(图 7,图 8);其他油藏规模较 I 小很多,面积约 1.7~7 km²,其中油藏 II 受油源断层和 1 号泥岩墙控制,属于构造-岩性油藏,油藏 III-V 远离断层且主要受 1 号泥岩墙控制,属于岩性油藏。另外,2 号泥岩墙东侧由于距离油源断层较远,且受泥岩墙遮挡,油藏不发育。本次研究表明,D-F 油田泥岩墙的存在对储层垂向和平面的非均质性都有一定的影响,控制了研究区内油藏的分布范围。

5 结论

1) M1-SS 层在 D-F 油田中西部发育两个条带状的“泥岩墙”,为北西-南东向延伸,延伸长度分别为 17.5 km 和 18.3 km,在测井和地震上分别表现为较高的泥质含量和弱振幅反射。

2) 泥岩墙的发育和分布受该地区沉积环境和差异压实作用的控制。潮控河口湾的混合坪相带泥质含量相对较高,当埋藏后经历压实作用时,砂泥比低的混合坪沉积厚度变化较周围相带大,造成了 M1-SS 层厚度在混合坪相带变薄,甚至在泥岩墙边缘出现微小断裂。

3) 泥岩墙的存在影响了储层的非均质性,对 D-F 油田的油藏分布具有较大影响,油藏类型主要为岩性及构造-岩性油藏。当油气沿研究区西部油源断层运移至 M1-SS 层后,优先充注东侧上升盘,但泥岩墙的存在使 M1-SS 层的砂体连续性变差,对油气横向运移起到了隔挡作用,将断层东侧 D-F 油田的油藏分隔成了 5 个油藏。

致谢:本文在编写过程中,得到了中国地质大学(北京)能源学院邓宏文教授、中国石油勘探开发研究院西北分院何巍巍、中国石化石油勘探开发研究院郑文波等专家的指导,在此一并表示感谢!

参 考 文 献

[1] 魏春光,谢寅符,何雨丹. 厄瓜多尔奥连特盆地斜坡带地震多属性储层预测[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2011(S1):374-379.
Wei Chunguang, Xie Yinfu, He Yudan. Reservoir prediction using seismic multi-attributes method in slope of Oriente Basin, Ecuador [J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2011(S1): 374-379.

[2] 马中振,谢寅符,陈和平,等. 南美典型前陆盆地斜坡带油气成藏特征与勘探方向选择——以厄瓜多尔 Oriente 盆地 M 区块为例[J]. 天然气地球科学,2014,25(03):379-387.
Ma Zhongzhen, Xie Yinfu, Chen Heping, et al. Hydrocarbon accumulation feature and exploration direction selection: Taking M Block of Oriente Basin, Ecuador as an example [J]. Natural Gas Geoscience, 2014, 25(03): 379-387.

[3] Dashwood M F, Abbotts I L, 李树海. 厄瓜多尔 Oriente 盆地石油地质综述[J]. 国外油气勘探,1997,9(2):173-185.
Dashwood M F, Abbotts I L, Li Shuhai. Aspects of the petroleum geology of the Oriente Basin, Ecuador [J]. Oil & Gas Prospecting Abroad, 1997, 9(2): 173-185.

[4] 陈诗望,姜在兴,田继军,等. 厄瓜多尔 Oriente 盆地南部区块沉积特征[J]. 海洋石油,2008,28(1):32-34.
Chen Shiwang, Jiang Zaixing, Tian Jijun, et al. Sedimentary characteristics in the South Block of Oriente Basin, Ecuador [J]. Offshore Oil, 2008, 28(1): 32-34.

[5] 刘畅,张琴,谢寅符,等. 厄瓜多尔 Oriente 盆地东北部区块白垩系层序地层格架及发育模式[J]. 沉积学报,2014,32(06):1123-1131.
Liu Chang, Zhang Qin, Xie Yinfu, et al. Sequence stratigraphic framework and development model of the Cretaceous in Northeast Block, Oriente Basin, Ecuador [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2014, 32(06): 1123-1131.

[6] 于翠玲,林承焰. 储层非均质性研究进展[J]. 油气地质与采收率,2007,14(4):15-18.
Yu Cuiling, Lin Chengyan. Advancement of reservoir heterogeneity research [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2007, 14(4): 15-18.

[7] Shanmugam G, Poffenberger M, Alava J T. Tide-dominated estuarine facies in the Hollin and Napo (“T” and “U”) formations (Cretaceous), Sacha field, Oriente Basin, Ecuador [J]. AAPG Bulletin, 2000, 84(5): 652-682.

[8] Roger Higgs. Tide-dominated estuarine facies in the Hollin and Napo (“T” and “U”) formations (Cretaceous), Sachafield, Oriente Basin, Ecuador; Discussion. AAPG Bulletin, v. 86, NO. 2 (February 2002): 329-334.

[9] Shanmugam G, Poffenberger M. Tide-dominated estuarine facies in the Hollin and Napo (“T” and “U”) formations (Cretaceous), Sacha field, Oriente Basin, Ecuador; Reply. AAPG Bulletin, v. 86, NO. 2 (February 2002): 335-340.

[10] Goodbred S L, Saito Y. Tide-Dominated Deltas [M] // Principles of Tidal Sedimentology. 2011: 129-149.

[11] Tessier B. Stratigraphy of Tide-Dominated Estuaries [M] // Principles of Tidal Sedimentology. 2012: 109-128.

[12] 王洪建,刘文正,陈杨艾,等. 温西一、温五区块三间房组沉积微相与油气产能[J]. 石油与天然气地质,1997,18(3):252-256.
Wang Hongjian, Liu Wenzheng, Chen Yangai, et al. Sedimentary microfacies and petroleum productivity of Sanjianfang Formation in Wenxi-I and Wen-V blocks [J]. Oil and Gas Geology, 1997, 18(3): 252-256.

[13] 李文涛,赵铭江,张波,等. 厄瓜多尔 Oriente 盆地 11 区块油气勘探潜力分析[J]. 油气地质与采收率,2004,11(1):33-35.

- Li Wentao, Zhao Mingjiang, Zhang Bo, et al. Analysis on petroleum exploration potential in block 11 of the Oriente Basin in Ecuador[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2004, 11(1): 33–35.
- [14] 牟汉生, 姜在兴, 田继军, 等. 厄瓜多尔 Oriente 盆地南部区块 Napo 组层序地层特征及成藏条件分析[J]. *大庆石油地质与开发*, 2007, 26(5): 45–48.
- Mou Hansheng, Jiang Zaixing, Tian Jijun, et al. Sequence stratigraphy characteristic and reservoir generation conditions of Napo Formation in south block of Oriente basin, Ecuador[J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2007, 26(5): 45–48.
- [15] 徐佑德, 柳忠泉, 许世红, 等. 厄瓜多尔 Oriente 盆地 16 区块油气地质及勘探潜力[J]. *海洋石油*, 2006, 26(3): 25–30.
- Xu Youde, Liu Zhongquan, Xu Shihong, et al. Analysis on petroleum geology and exploration potential in Block 16 of Oriente Basin, Ecuador[J]. *Offshore Oil*, 2006, 26(3): 25–30.
- [16] 何彬, 刘毅, 赵刚锋, 等. 厄瓜多尔奥连特盆地 T 区油气成藏主控因素分析[J]. *石油地质与工程*, 2014, 28(3): 5–8.
- He Bin, Liu Yi, Zhao Gangfeng, et al. Main controlling factors analysis of hydrocarbon accumulation in T area of Oriente basin, Ecuador[J]. *Petroleum Geology and Engineering*, 2014, 28(3): 5–8.
- [17] 谢寅符, 季汉成, 苏永地, 等. Oriente-Maranon 盆地石油地质特征及勘探潜力[J]. *石油勘探与开发*, 2010, 37(01): 51–56.
- Xie Yinfu, Ji Hancheng, Su Yongdi, et al. Petroleum geology and exploration potential of Oriente-Maranon Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2010, 37(01): 51–56.
- [18] 何彬, 刘毅, 郝斐, 等. 奥连特盆地油气系统特征与勘探潜力[J]. *石油天然气学报*, 2011, 33(04): 34–38.
- He Bin, Liu Yi, Hao Fei, et al. The characteristics of hydrocarbon system and exploration potential of Oriente Basin[J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2011, 33(04): 34–38.
- [19] 田继军, 姜在兴, 陈诗望. 厄瓜多尔 Oriente 盆地南部区块 Napo 组层序地层模式与岩性地层圈闭预测[J]. *现代地质*, 2010, 24(04): 678–684.
- Tian Jijun, Jiang Zaixing, Chen Shiwang. Sequence Stratigraphy mode and lithologic traps prediction of Napo formation in south block of Oriente Basin, Ecuador[J]. *Geoscience*, 2010, 24(04): 678–684.
- [20] Warren T, Pratt T, Pablo D. An autochthonous geological model for the eastern Andes of Ecuador[J]. *Tectonophysics*, 2005, 399(1–4): 251–278.
- [21] Barragán R, Baby P, Duncan R. Cretaceous alkaline intra-plate magmatism in the Ecuadorian Oriente Basin: Geochemical, geochronological and tectonic evidence[J]. *Earth & Planetary Science Letters*, 2005, 236(s3–4): 670–690.
- [22] Brookfield M E, Hemmings D P, Straaten P V. Paleoenvironments and origin of the sedimentary phosphorites of the Napo Formation (Late Cretaceous, Oriente Basin, Ecuador)[J]. *Journal of South American Earth Sciences*, 2009, 28(2): 180–192.
- [23] 李涛. 低幅度构造识别技术在南美奥连特盆地油气勘探中的应用[J]. *中国石油勘探*, 2010, 15(01): 48–51.
- Li Tao. Application of Low-amplitude Structural Identification Technology to Exploration for Oil and Gas in Oriente Basin, South America[J]. *China Petroleum Exploration*, 2010, 15(01): 48–51.
- [24] 李涛, 魏春光, 何雨丹. 南美前陆盆地隐蔽油气藏勘探[J]. *地球物理学进展*, 2012, 27(01): 320–325.
- Li Tao, Wei Chunguang, He Yudan. Exploration of subtle reservoir of foreland basin in South America[J]. *Progress in Geophysics*, 2012, 27(01): 320–325.
- [25] Balkwill H R, Rodriguez G, Paredes F I, et al. Northern part of Oriente basin, Ecuador: reflection seismic expression of structures [C] // Tankard A J, Suarez R, and Welsink H J, eds. *Petroleum basins of South America*. Tulsa: AAPG Memoir, 1995, 62: 559–571.
- [26] Gaibor J, Hochuli J P A, Winkler W, et al. Hydrocarbon source potential of the Santiago Formation, Oriente Basin, SE of Ecuador[J]. *Journal of South American Earth Sciences*, 2008, 25(2): 145–156.
- [27] 邹新宁, 孙卫, 张盟勃, 等. 地震属性分析在岩性气藏描述中的应用[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2006, 36(02): 289–294.
- Zou Xinning, Sun Wei, Zhang Mengbo, et al. The Application of Seismic Attributes Analysis to Lithologic Gas Reservoir Description[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2006, 36(02): 289–294.
- [28] Pontén A, Plink-Björklund P. Regressive to transgressive transits reflected in tidal bars, Middle Devonian Baltic Basin[J]. *Sedimentary Geology*, 2009, 218(218): 48–60.
- [29] Fenies H, Tastet J P. Facies and architecture of an estuarine tidal bar (the Trompeloup bar, Gironde Estuary, SW France) [J]. *Marine Geology*, 1998, 150(1): 149–169.
- [30] Zheng Wenbo, Deng Hongwen. High-resolution sequence stratigraphic division and distribution of tidal deposits in the Zhuhai Formation, Huizhou Sag, Pearl River Mouth Basin, South China Sea[J]. *Geological Magazine*, 2012, 149(4): 722–728.
- [31] Musial G, Reynaud J Y, Gingras M K, et al. Subsurface and outcrop characterization of large tidally influenced point bars of the Cretaceous McMurray Formation (Alberta, Canada) [J]. *Sedimentary Geology*, 2012, 279(9): 156–172.
- [32] 关德范. 差异压实、构造、油气[J]. *东北石油大学学报*, 1982, 1: 17–25.
- Guan Defan. Differential compaction, tectonics and hydrocarbon[J]. *Journal of Northeast Petroleum University*, 1982, (1): 17–25.
- [33] 肖佃师, 卢双舫, 黄振凯, 等. 大庆长垣南部两翼葡萄花油层油气运移及聚集规律[J]. *现代地质*, 2013, 27(01): 172–179.
- Xiao Dianshi, Lu Shuangfang, Huang Zhenkai, et al. Oil Migration and Accumulation Pattern of Putaohua Reservoir in Two Wings of the South of Daqing Placanticline[J]. *Geoscience*, 2013, 27(01): 172–179.

(编辑 董立)