

文章编号:1009-9603(2021)02-0135-08

DOI:10.13673/j.cnki.cn37-1359/te.2021.02.017

EBANO油田Ksf和Kan层裂缝特征及连通性分析

王希贤

(中国石化集团国际石油工程有限公司 墨西哥子公司,北京 100728)

摘要:墨西哥EBANO油田的油藏类型为裂缝-孔隙型灰岩油藏,裂缝是影响油井产能和含水率上升的重要因素。为了解决开发中存在的Ksf和Kan层裂缝连通性认识不清的问题,利用岩心、成像测井资料、钻探资料和PLT测试资料及地震相干体技术,对EBANO油田泥质灰岩和灰质泥岩薄互层中裂缝的发育机理、发育规律、影响因素及裂缝的连通性进行了研究。结果表明,该油田的裂缝主要为高角度构造缝,裂缝密度一般为1~2条/m,最大可达12条/m,裂缝发育受岩性、断层、岩性组合关系及储层非均质性的影响;岩性可以分为3种组合模式,其中单层厚度为2~4 m的泥质灰岩与单层厚度小于1 m的灰质泥岩互层是形成裂缝的有利条件,Ksf和Kan层裂缝连通性可以分为3种类型。研究成果为油田不同类型裂缝开发方式提供了指导,2013—2014年钻井成功率由92%提高到97%,2020年新井单井初期日产量提高到原计划初期日产量的167%,实施效果良好。

关键词:构造缝;发育规律;岩性组合;连通性;墨西哥EBANO油田

中图分类号:TE122.2*3

文献标识码:A

Study on fracture connectivity between Ksf and Kan layers in EBANO Oilfield

WANG Xixian

(SINOPEC International Petroleum Service Mexico, Beijing City, 100728, China)

Abstract: The EBANO Oilfield in Mexico is dominated by the fracture-pore limestone reservoir, and the fracture is an important factor affecting oil well productivity and the water-cut rising mode. The development mechanism, influencing factors and connectivity between fractures in the thin interbeds of argillaceous limestone and calcareous mudstone in the EBANO Oilfield are studied by analyzing core and imaging logging data, drilling data, PLT test data and seismic coherence technology to improve the understanding of fracture connectivity between Ksf and Kan layers. Results indicate that this oilfield is controlled by high-angle structural fractures with the density of generally 1-2 fractures/m and 12 fractures/m to the highest, and fracture development is affected by lithology, faults, lithological association and reservoir heterogeneity. Besides, the lithology of EBANO Oilfield can be divided into three modes of association. The interbeds of argillaceous limestone with a single layer thickness of 2-4 m and calcareous mudstone with a single layer thickness of less than 1 m are favorable conditions for emerging fractures, and the fracture connectivity between Ksf and Kan layers can be divided into three types. The research results provide guidance for the development of different fractures in the oilfield. From 2013 to 2014, the drilling success rate increased from 92% to 97%. In 2020, the single well initial production of new wells will be enhanced to 167%.

Key words: structural fracture; development law; lithology association; connectivity; Mexico EBANO Oilfield

裂缝-孔隙型灰岩油藏由于具有孔缝双重介质,储层非均质性强,裂缝预测成为研究难题之一^[1-6]。中外学者对裂缝识别与预测^[7-9]及裂缝的发育规律^[10-13]进行了大量研究,已形成较为成熟的技

术和方法,促进了碳酸盐岩油藏开发水平的不断提高。墨西哥EBANO油田为浅层裂缝-孔隙型稠油灰岩油藏,开发目的层为Ksf和Kan层。1911年投入开发,初期采用直井开发Ksf层,高峰期日产量

收稿日期:2020-12-24。

作者简介:王希贤(1966—),男,河南温县人,高级工程师,从事油气田地质研究与开发管理工作。E-mail:wangxx.sips@sinopec.com。

最高达 $1.2 \times 10^4 \text{ m}^3$, 随后产量快速递减。2008年后利用水平井开发 Kan 层, 水平段长度选取 600 m 左右, 单井初期产油量和累积产油量大幅度回升。在开发过程中发现不同区域 Ksf 和 Kan 层裂缝连通性差异较大, 部分井区局部上下连通, 另外一些井区上下不连通。由此给开发布井带来较大困惑, 给堵水措施的选择也造成困难, 确定 Ksf 和 Kan 层的裂缝连通关系成为必须解决的问题。通过地震、测井、钻录井和生产测试的资料对裂缝发育规律进行再认识, 阐明了裂缝发育的控制因素以及 Ksf 和 Kan 层裂缝连通状况, 为油田开发方案和布井原则的确定提供有力依据, 为油田控水提出方向性指导。

1 油田概况

EBANO 油田位于墨西哥湾西岸中部, AMAULIPAS 省、SAN LUIS POTOSI 省及 VERACRUZ 省交界处。构造位置上属于 Tampico-Misantla 盆地 Tamaulipas 台地(图 1), 总体为西北高、东南低的低幅背斜, 发育大量北东-南西向断层^[14]。研究区主要开发目的层为白垩系 Ksf 和 Kan 层, 为海相陆棚边缘相的泥质灰岩和灰质泥岩互层, 扫描电镜资料显示, Ksf 和 Kan 层为裂缝-孔隙双重介质, 主要储集空间为物体腔孔、铸模孔和溶蚀孔。根据物性分析结

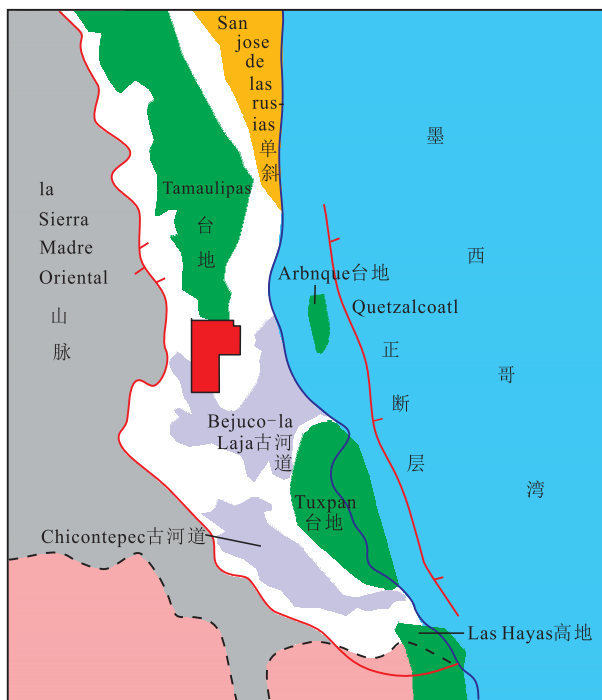


图1 EBANO 油田构造位置

Fig.1 Structural location of EBANO Oilfield

果, 平均孔隙度(基质+裂缝)为 6%~14%, 平均渗透率为 1~600 mD。EBANO 油田含油面积为 302 km², 地质储量为 $6.9 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。EBANO 油田由于地层浅, 原油性质差, 原油黏度高, 地面原油密度为 0.985 2~0.985 8 g/cm³, 地层原油密度为 0.948 3~0.953 2 g/cm³, 属重油-超重油, 40℃下地面脱气原油黏度约为 4 000 mPa·s, 地层原油黏度约为 300~700 mPa·s。

2 裂缝发育机理

裂缝的发育受控于构造运动^[15], 是基底构造运动导致断层附近上覆地层构造变形产生的(图 2)。EBANO 油田的构造演化为: 晚三叠世—中侏罗世同生裂谷期, 发育近南北向的正断层, 夹持形成东西向的垒堑相间结构; 晚侏罗世—白垩世被动大陆边缘期, 区内构造稳定, 沉积连续渐变; 古新世—中新世前陆盆地期, Laramide 造山运动使区内断层活化, 在南北向断裂附近形成花状构造。从 EBANO 油田的构造演化史看, 晚三叠世—中侏罗世的拉张应力和古新世—中新世的挤压应力释放形成断层和伴随的裂缝带, 裂缝可能存在 2 期, 晚三叠世—中侏罗世的张性裂缝和古新世—中新世的剪切裂缝。由于泥质灰岩的脆性大于灰质泥岩, 裂缝首先在泥质灰岩中产生, 随着泥质灰岩中应力不断释放, 灰质泥岩的应力更加集中, 达到破裂点时灰质泥岩产生裂缝^[16]。由于灰质泥岩的塑形作用较强, 破裂压力远大于泥质灰岩, 与泥质灰岩相比, 在灰质泥岩中产生大裂缝需要的应力更高, 在应力相对较为集中的断裂破碎带或长期活动的同生沉积断层的灰质泥岩中可能更易于发育宏观大裂缝。

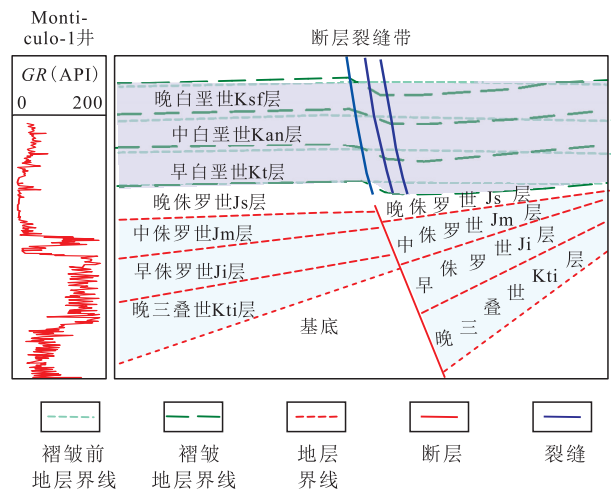


图2 裂缝发育机理

Fig.2 Fracture development mechanism

3 裂缝发育规律及影响因素

3.1 裂缝的发育规律

岩心观察表明^[17], EBANO 油田裂缝可以分为构造缝和层理缝, 储层构造缝近于垂直, 以半开启缝为主, 其余为开启缝和封闭缝, 裂缝密度为 0.2~0.8 条/m, 多数裂缝是半开启的, 其比例为 74%; 部分裂缝是开启的, 其比例为 22%; 少数裂缝是封闭的, 完全充填封闭的裂缝比例为 4%, 封闭裂缝中的充填物为方解石。

据新钻井的成像测井资料, 主裂缝走向近南北向(图3), 次裂缝走向近东西向, 同时水平缝也较为发育, 水平缝主要为层理缝。层理缝和垂直缝形成网状裂缝系统。

10 口直井和水平井的成像测井获得的裂缝密度数据显示, 在 Ksf 和 Kan 层裂缝广泛存在, 各井裂缝发育程度差异较大, 在 EBANO-1226 井中, 裂缝密度最大, 其最大值为 12 条/m; 在 EBANO-1105D 和 EBANO-1057H 井中, 裂缝密度较大; 在 EBANO-1081 和 EBANO-1055H 井中, 裂缝密度相对较小。

EBANO-2001 井成像测井资料表明, 从 Ksf 层

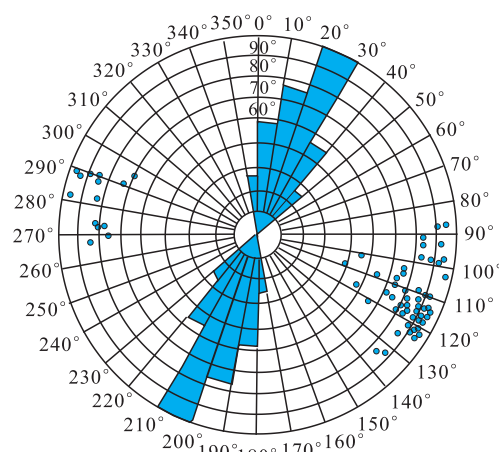


图3 EBANO 油田裂缝走向玫瑰花图

Fig.3 Rose diagram of fracture strike in EBANO Oilfield

到 Kan 层全井段均分布裂缝, Ksf 层底部区域灰质泥岩段 500~600 m 处裂缝较为发育, 裂缝密度为 1~2 条/m。EBANO-1040 井成像测井资料表明, 在灰质泥岩段 440~470 m 处, 裂缝密度为 1~2 条/m, 在泥质灰岩段 510~530 m 处, 裂缝密度达 1~5 条/m(图4)。

3.2 裂缝发育影响因素

EBANO 油田影响裂缝发育的因素多样, 主要表现为构造运动复杂, 受断裂和剥蚀影响, 地层厚度

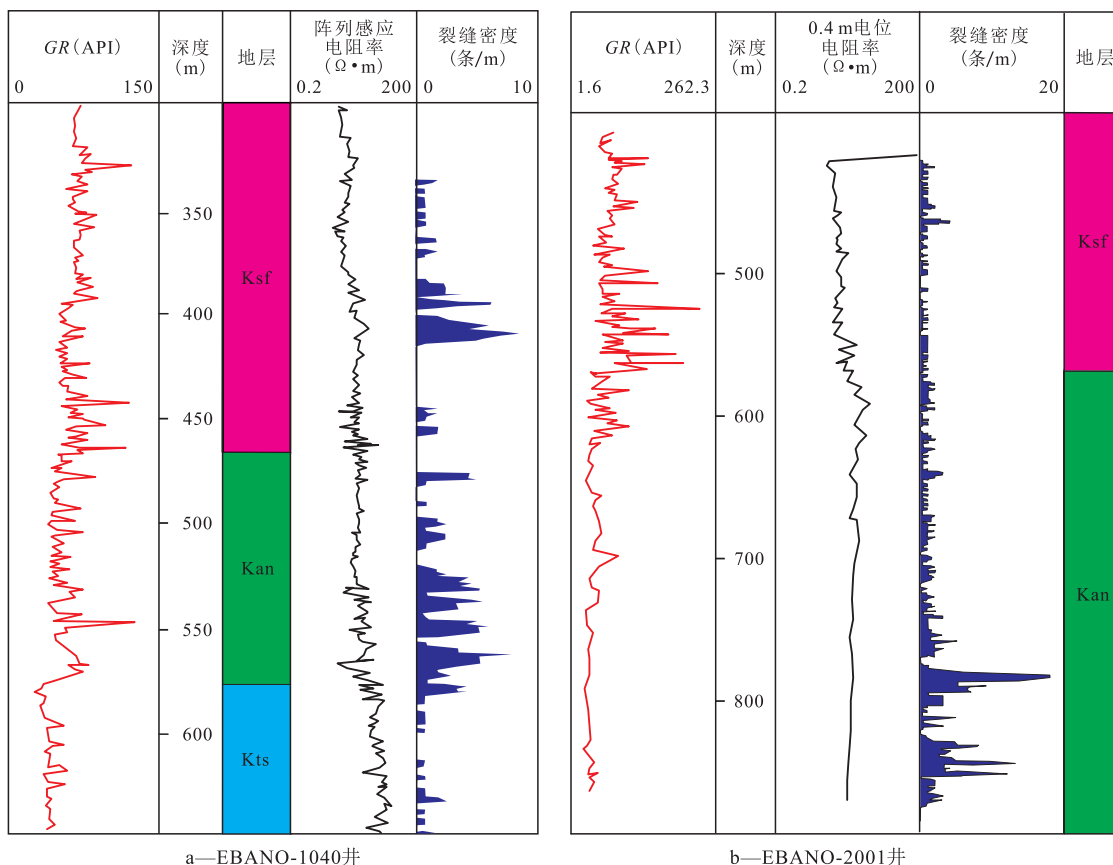


图4 EBANO-1040和EBANO-2001井成像测井解释裂缝密度

Fig.4 Fracture density interpretation by imaging logging in Wells EBANO-1040 and EBANO-2001

横向变化大,加之灰质泥岩和泥质灰岩频繁互层,横向上岩性变化大,储层非均质性严重。

岩性 岩性是控制EBANO油田致密灰岩裂缝发育的重要因素之一^[18]。影响裂缝-孔隙型灰岩储层裂缝发育的岩性主要因素是岩石的矿物成分。粒泥灰岩中裂缝最发育,而泥晶灰岩、灰质泥岩和泥岩的裂缝密度依次降低。这是由于沉积过程中海平面的升降变化导致泥质与灰质频繁交互,塑性矿物(如泥质)含量和脆性矿物(如方解石)含量不同,岩石本身的力学性质存在差异,在同一构造应力条件下,裂缝的发育程度亦存在差异。岩心观察表明从Ksf到Kan层裂缝密度增加,主要原因是Kan层泥质含量低于Ksf层(表1)。

表1 Ksf和Kan层矿物含量
Table1 Mineral content of Ksf and Kan layers %

层位	石英	角闪石	方解石	白云石	黏土
Ksf	19.0	3	64	4.0	10
Kan	15.6	2	74	2.4	6

断层 断层既能作为油气运移的通道,又能作为遮挡体形成圈闭,同时断层带周围裂缝的发育可改善致密储层的储集物性^[19-20]。EBANO油田裂缝主要沿断层分布,断裂破碎带(花状断裂)裂缝最为发育;纵向上,上部上白垩统Ksf层裂缝级别小,越往下断距越大,裂缝级别逐渐变大。南北断裂发育特征明显不同,南部断裂级别大,纵向上表现为断距大、切割层位多深入基底,平面上表现为延伸距离长,裂缝带更发育;北部断裂级别小,纵向上表现为断距小、切割层位相对少,离散裂缝和微裂缝发育。

岩性组合关系 根据岩心不同岩性和不同岩层层厚条件下裂缝发育的差异,通过对比归纳分类,根据泥质灰岩和灰质泥岩的厚度^[21],EBANO油田可以划分为3种组合模式(图5)。模式1泥质灰岩和灰质泥岩互层,灰岩厚度较大,泥质灰岩厚度为4~8 m,灰质泥岩厚度小于3 m;模式2泥质灰岩和灰质泥岩薄互层,泥质灰岩厚度为2~4 m,灰质泥岩厚度小于1 m;模式3主要为区域灰质泥岩夹薄层页岩层,灰质泥岩厚度为2~3 m,页岩厚度一般小于0.5 m。3种岩性组合中,模式2,岩石力学性质差异明显,在区域应力的作用下,容易形成裂缝,而且泥质灰岩和灰质泥岩单层厚度较小,裂缝间距小,裂缝密度大;模式1,由于岩石力学性质存在差异,在区域应力作用下,较易形成裂缝,但由于泥质灰岩厚度相对较大,裂缝间距大于模式2,密度相对较低;模式3灰质泥岩和页岩的塑形强,裂缝密度低。

储层非均质性 曾联波通过大量实验发现,地层在纵向和平面上均存在明显的岩石力学非均质性,这种非均质性特征控制了不同方向裂缝的发育程度^[22]。EBANO油田在古新世—中新世前陆盆地期,Laramide造山运动形成挤压作用,理论上应该存在NNE和NNW2个方向的一组共扼断裂体系,但从成像侧井裂缝走向玫瑰花图(图3)看,几乎无NNW向裂缝;地震资料解释断层走向也表明,断层呈现NNE走向或近SN走向展布特征,极少存在NNW向的断层,这可能与储层强非均质性有关,抑制了另一组裂缝的产生。

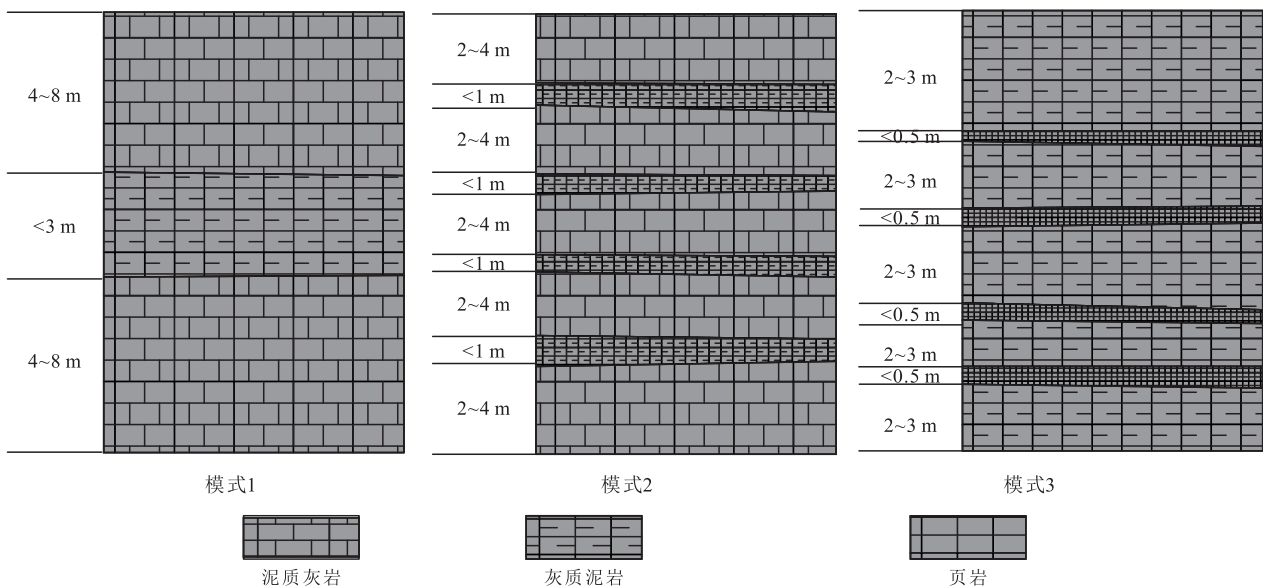


图5 EBANO油田泥储层岩性3种组合模式

Fig.5 Three association models of reservoir lithology in EBANO Oilfield

4 裂缝连通性分析及应用

4.1 裂缝连通性

裂缝能否穿透泥岩层,是决定灰岩、泥岩互层的储层质量好坏的关键。EBANO 油田 Ksf 层底部存在 20~30 m 的灰质泥岩层,裂缝能否将灰质泥岩层穿透连通上下 2 套开发层系,直接影响 EBANO 油田的开发战略,即继续目前的分层系开发还是合层开采。但是能够穿透泥岩界面的大裂缝本身来讲数量是有限的,无论是岩心观测或是成像测井,都难以观察到泥岩中大量的穿透性裂缝,更无法对其发育规律进行研究,因此不能利用直接观察方法来确定泥质灰岩和灰质泥岩互层中裂缝的穿透性。

中外学者对裂缝的穿层性进行了较多研究^[23-24],张江晖等利用有限元数值模拟法对和田河气田含夹层碳酸盐岩储层泥岩的穿透性进行了研究,认为当灰岩中泥质隔夹层厚度超过 4~6 m 时,由于裂缝难以穿透泥岩,裂缝发育不再符合规律,破裂应力急剧增加,大型裂缝较难发育。

Ksf 层底部区域夹层的岩性主要为灰质泥岩夹薄层页岩,灰质泥岩层由于含钙质,其脆性程度较

泥岩大,据文献^[22]可知,在砂泥岩剖面中,钙质或白云质等脆性组分含量较高的泥岩的裂缝发育程度甚至有可能高于砂岩,而灰质泥岩含灰质成分较多,据岩石薄片资料,灰质泥岩层方解石含量普遍大于 40%,脆性矿物含量高,据此推测,灰质泥岩层中也应发育大裂缝连通 Ksf 层和 Kan 层。

据 PLT 测试资料,EBANO-1057 井在 Ksf 层的区域盖层 Mendez 含灰质和火山碎屑质泥岩段 515~520 m 处,测试日产油量为 3.7 m³/d,该裂缝距 Ksf 层顶面距离大于 30 m。在灰质泥岩段 617~622 m 处,测试日产油量为 10.2 m³/d,由此可见,灰质泥岩中存在大的裂缝,可以沟通 Ksf 层和 Kan 层。

利用地震相干体对裂缝连通性进行分析,在裂缝发育带有良好的响应^[25]。从 EBANO-2056 和 EBANO-2064 井相干体剖面看,Ksf 和 Kan 层存在连通和不连通 2 种情况,在部分井区裂缝穿透 Ksf 层底部区域灰质泥岩层(图 6),在其他区域 Ksf 和 Kan 层上下裂缝不连通。Ksf 和 Kan 层裂缝纵向上不同连通情况在相干体剖面上有不同的地震响应特征,根据相干体的不同反射特征、断裂发育特征以及开发动态特征划分 3 类裂缝发育区(图 7)。I 类裂缝区相干体纵向贯穿、横向规模大,Ksf 和 Kan 层上下裂

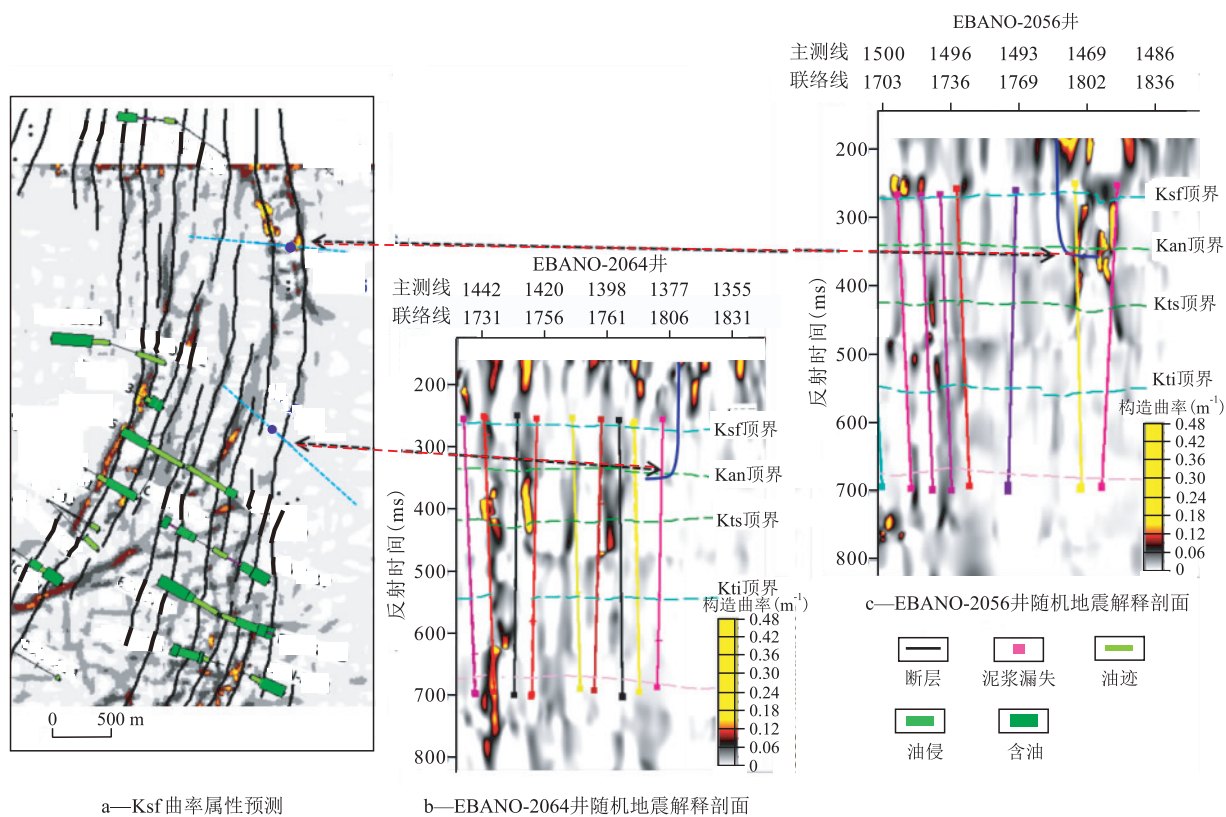


图 6 过 EBANO-2056 和 EBANO-2064 井相干体地震剖面

Fig.6 Seismic profile of coherence cube passing through Wells EBANO-2056 and EBANO-2064

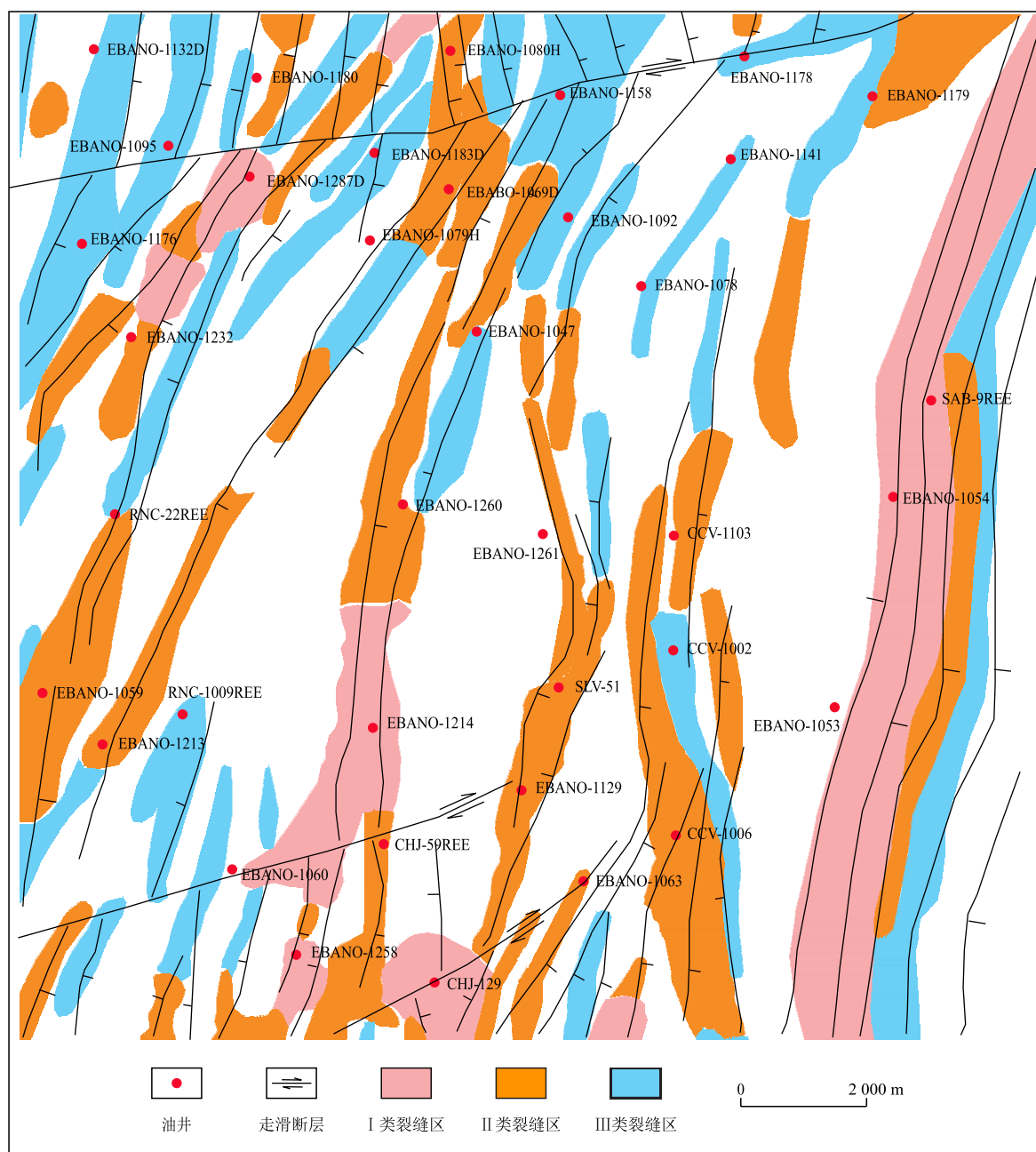


图7 EBANO油田东部三类裂缝分布预测

Fig.7 Distribution prediction of three classes of fractures in eastern EBANO Oilfield

缝系统连通好; II类裂缝区相干体有异常但范围小, Ksf和Kan层上下裂缝系统连通性一般; III类区目的层主要为微细裂缝区, Ksf和Kan层为层状油藏, Ksf和Kan层上下裂缝系统不连通。从地震相干体预测裂缝平面分布图看, I和II类裂缝区主要分布于较大规模的断层或断裂带附近, 这与较大规模断层和断裂带应力更为集中, 应力释放时更易于在区域泥质灰岩层中形成宏观裂缝相关。

4.2 开发应用及建议

根据Ksf和Kan层裂缝特征及连通性的认识, 针对Ksf和Kan层裂缝不同的连通情况, 考虑钻井施工

的难易程度, 采取不同的开发战略。

在北部地区由于储量未动用, Kan层的基质储层物性好于Ksf层, 加之受构造形态的控制, 北部地层抬升, 地层埋深相对较浅, 水平段若设计在Ksf优质基质储层中, 钻井施工难度大, 加之北部地区的裂缝以离散裂缝和微裂缝为主, 裂缝规模较南部小, 因此在北部地区水平井位优先选择I和II类裂缝发育区, 水平段设计在Kan层中, 后期开发调整时可以考虑水平井开发Ksf层。

在南部地区, I类裂缝区水平段位于Ksf层, 在II类裂缝发育区, 水平段设计在Kan层, 利用斜井段

沟通Ksf层底部的裂缝发育段,同时开发Kan和Ksf层,提高油田产能;对于Ⅲ类裂缝区,采用斜井沟通纵向上各小层合采,以提高油田产能。

2013—2014年和2020年根据裂缝连通性及裂缝预测成果,分别钻井116口和7口,2013—2014年钻井成功率由92%提高到97%,2020年钻井成功率为100%,测试投产7口井初期日产量平均达18.5 m³/d,是原计划初期日产量11.1 m³/d的167%。

在EBANO油田未来的开发中,对于Ksf和Kan层连通区域可以尝试采用小斜度井贯穿上下2层,井底设计在Kan层顶部。小斜度井在Ksf和Kan层顶部裂缝中穿行,一是可实现双层合采增加产量;二是远离Kan层底水,延迟出水时间,延长采油期限,增加单井累积产油量;三是降低钻井成本。

5 结论

在裂缝发育机理、发育规律、影响因素分析的基础上对裂缝连通性进行研究,确定EBANO油田Ksf和Kan层裂缝存在3种不同的连通类型。

根据裂缝不同连通类型,采用3种不同的开发策略,Ⅰ类裂缝发育区Ksf和Kan层采用水平井合采方式,Ⅱ类裂缝发育区采用大斜度井沟通Ksf层底部和Kan层裂缝,同时开发Kan和Ksf层,Ⅲ类裂缝发育区采用水平井分层开采。3种策略的实施,取得了一定成果,2013—2014年钻井成功率由92%提高到97%,2020年新井初期日产量提高到原计划初期日产量的167%。

裂缝-孔隙型灰岩油藏裂缝连通性关系研究,直接影响开发层系的开发方式和井身结构的选择,对于油田中后期的开发调整具有重要的指导作用。

参考文献

- [1] 徐德军,张文才,杜秀娟,等.伊朗扎格罗斯盆地白垩质灰岩储层特征及开发建议[J].石油实验地质,2010,32(1):15-18,23. XU Dejun, ZHANG Wencai, DU Xiujian, et al. Reservoir characteristics and development suggestion of Chalky limestone in the Zagros basin, Iran[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2010, 32(1): 15-18, 23.
- [2] 朱联强,袁海峰,林雪梅,等.四川盆地安岳构造寒武系龙王庙组成岩矿物充填期次及油气成藏[J].石油实验地质,2019,41(6):812-820. ZHU Lianqiang, YUAN Haifeng, LIN Xuemei, et al. Diagenesis and hydrocarbon accumulation of the Cambrian Longwangmiao Formation in Anyue, Sichuan Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2019, 41(6): 812-820.
- [3] 魏漪,徐婷,钟敏,等.不同基质-裂缝耦合模式下致密油生产动态特征[J].油气地质与采收率,2018,25(2):83-89,95. WEI Yi, XU Ting, ZHONG Min, et al. Dynamic characteristics under different matrix-fracture coupling modes in tight oil reservoirs[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2018, 25(2): 83-89, 95.
- [4] 房娜,张占女,程明佳,等.基于不同裂缝发育程度下周期注水注采参数优化研究[J].特种油气藏,2019,26(1):131-135. FANG Na, ZHANG Zhanü, CHENG Mingjia, et al. Injection-production parameter optimization study of cyclic water injection different development levels of fractures[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2019, 26(1): 131-135.
- [5] 李阳,康志江,薛兆杰,等.中国碳酸盐岩油气藏开发理论与实践[J].石油勘探与开发,2018,45(4):669-678. LI Yang, KANG Zhijiang, XUE Zhaojie, et al. Theories and practices of carbonate reservoirs development in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2018, 45(4): 669-678.
- [6] 杨战伟,才博,胥云,等.库车山前超深巨厚储层缝网改造有效性评估[J].中国石油勘探,2020,25(6):105-111. YANG Zhanwei, CAI Bo, XU Yun, et al. Effectiveness evaluation on network fracturing in ultra-deep and thick reservoirs in Kuqa piedmont[J]. China Petroleum Exploration, 2020, 25(6): 105-111.
- [7] 田世存,汤磊,张达景,等.墨西哥Tampico-Misantla盆地石油地质特征及潜力分析[J].新疆石油天然气,2016,12(3):1-7. TIAN Shicun, TANG Lei, ZHANG Dajing, et al. Petroleum geological characteristics and potential analysis of Tampico-Misantla basin in Mexico[J]. Xinjiang Oil & Gas, 2016, 12(3): 1-7.
- [8] 陈国威,董刚,龚建明.从地质演化特征探讨墨西哥湾地区油气富集的基本规律[J].海洋地质动态,2010,26(3):6-13. CHEN Guowei, DONG Gang, GONG Jianming. Discuss of the regular pattern of hydrocarbon accumulation in the Gulf of Mexico from the character of geologic succession[J]. Marine Geology Letters, 2010, 26(3): 6-13.
- [9] 王伟,张欣,崔晓荣.墨西哥Ébano-Pánuco-Cacalilao区块白垩系地层沉积相研究[J].地质找矿论丛,2011,26(2):206-211. WANG Wei, ZHANG Xin, CUI Xiaorong. Study on the Cretaceous sedimentary facies in Ébano-Pánuco-Cacalilao(EPC)area, Mexico[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2011, 26(2): 206-211.
- [10] 程强,周德培,封志军.典型红层软岩软弱夹层剪切蠕变性质研究[J].岩石力学与工程学报,2009,28(增刊1):3176-3180. CHENG Qiang, ZHOU Depei, FENG Zhijun. Research on shear creep property of typical weak intercalation in redbed soft rock[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(Supplement1): 3176-3180.
- [11] 张志强,李宁,陈方方,等.软弱夹层厚度模拟实用方法及其应用[J].岩石力学与工程学报,2010,29(增刊1):2637-2644. ZHANG Zhiqiang, LI Ning, CHEN Fangfang, et al. A practical method to simulate thickness of weak interbed and its application[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010, 29(Supplement1): 2637-2644.

- [12] 徐珂,戴俊生,冯建伟,等.运用ANSYS法探讨软弱夹层对岩体破裂的影响[J].断块油气田,2015,22(6):735-739.
XU Ke, DAI Junsheng, FENG Jianwei, et al. Application of ANSYS in discussing influence of weak interbed on rock fracture[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2015, 22(6): 735-739.
- [13] 王卫华,李夕兵.离散元法及其在岩土工程中的应用综述[J].岩土工程技术,2005,19(4):177-181.
WANG Weihua, LI Xibing. A review on fundamentals of distinct element method and its application in geotechnical engineering [J]. Geotechnical Engineering Technique, 2005, 19(4): 177-181.
- [14] 王希贤.EBANO油田裂缝-孔隙型灰岩稠油油藏特征及油气富集规律[J].石油与天然气地质,2020,41(2):416-422.
WANG Xixian. Characteristics and hydrocarbon accumulation pattern of heavy oil reservoir of fracture-pore limestone in EBANO oilfield, Mexico[J]. Oil & Gas Geology, 2020, 41(2): 416-422.
- [15] 李长海,赵伦,李建新,等.滨里海盆地东缘构造缝形成期次及低角度构造缝成因[J].特种油气藏,2019,26(3):56-61.
LI Changhai, ZHAO Lun, LI Jianxin, et al. Structural fracture formation stages in the eastern margin of the Caspian basin and genesis of low-angle structural fracture [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2019, 26(3): 56-61.
- [16] 王珂,戴俊生,贾开富,等.库车拗陷A气田砂泥岩互层构造裂缝发育规律[J].西南石油大学学报:自然科学版,2002,35(2):63-70.
WANG Ke, DAI Junsheng, JIA Kaifu, et al. Research on development regularity of structural fractures in sand-mud interbed of A Gas Field, Kuqa Depression [J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition, 2002, 35(2): 63-70.
- [17] 崔晓朵,王伟,曹刚,等.墨西哥EPC区碳酸盐岩储层裂缝特征和非均质性研究[J].海洋地质前沿,2011,27(1):38-41.
CUI Xiaoduo, WANG Wei, CAO Gang, et al. Fracture features and reservoir heterogeneity of carbonate reservoir in EPC area, Mexico [J]. Marine Geology Frontiers, 2011, 27(1): 38-41.
- [18] 刘显太,王玉芹,杜玉山,等.背斜构造裂缝性碳酸盐岩油藏裂缝网络发育模式——以胜利油区富台油田车古201潜山为例[J].油气地质与采收率,2011,18(6):70-73.
LIU Xiantai, WANG Yuqin, DU Yushan, et al. Study on fracture network pattern of anticline structure in fractured carbonate reservoir—case of Chegu201 of Futai buried hill in Shengli oilfield [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2011, 18(6): 70-73.
- [19] 樊自立.渤南地区BZ28-2油田断裂在油气成藏过程中的作用[J].大庆石油地质与开发,2019,38(3):18-24.
FAN Zili. Action of the faults in the process of the oil and gas accumulation for Oilfield BZ28-2 in Bonan region [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2019, 38(3): 18-24.
- [20] 张亚金,张湘娟,张振伟,等.古城地区奥陶系鹰山组白云岩储层特征及其控制因素[J].大庆石油地质与开发,2020,39(4):1-8.
ZHANG Yajin, ZHANG Xiangjuan, ZHANG Zhenwei, et al. Characteristics and their controlling factors of Ordovician dolomite reservoir in Yingshan Formation in Gucheng area [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2020, 39(4): 1-8.
- [21] 吕文雅,曾联波,张俊辉,等.川中下侏罗统致密灰岩储层裂缝的主控因素与发育规律[J].地质科学,2017,52(3):943-953.
LÜ Wenyua, ZENG Lianbo, ZHANG Junhui, et al. Main controlling factors and development laws of fractures in the Lower Jurassic tight limestones in central Sichuan Basin [J]. Chinese Journal of Geology, 2017, 52(3): 943-953.
- [22] 曾联波,漆家福,王永秀.低渗透储层构造裂缝的成因类型及其形成地质条件[J].石油学报,2007,28(4):52-56.
ZENG Lianbo, QI Jiafu, WANG Yongxiu. Origin type of tectonic fractures and geological conditions in low-permeability reservoirs [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(4): 52-56.
- [23] 张江晖,徐守余,蒋静,等.含夹层碳酸盐岩储层裂缝发育规律研究[J].地质科技情报,2019,38(2):75-80.
ZHANG Jianghui, XU Shouyu, JIANG Jing, et al. Fracture development in the carbonate reservoir with interlayers [J]. Geology Science and Technology Information, 2019, 38(2): 75-80.
- [24] 张明利,谭成轩,汤良杰,等.塔里木盆地库车拗陷中生代构造应力场分析[J].地球学报,2004,25(6):615-619.
ZHANG Mingli, TAN Chengxuan, TANG Liangjie, et al. An analysis of the Mesozoic-Cenozoic tectonic stress field in Kuqa Depression, Tarim Basin [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2004, 25(6): 615-619.
- [25] 刘妍君,侯思伟,王振奇,等.密井网下基于AVO三参数地震反演储层预测及应用[J].断块油气藏,2020,27(6):750-753,765.
LIU Yanjun, HOU Siwei, WANG Zhenqi, et al. Reservoir prediction and application based on AVO three-parameter seismic inversion under condition of dense well pattern [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2020, 27(6): 750-753, 765.

编辑 刘北羿