

复杂断块YG油田挖潜增产潜力评价及应用

苏崇华

中油石油国际能源服务(北京)有限公司, 北京

收稿日期: 2021年8月20日; 录用日期: 2021年11月30日; 发布日期: 2021年12月8日

摘要

为了评价海外生产近30年的复杂断块砂岩老油田是否还具有开发潜力, 储备该类油田在生产后期高含水、低压、气举下的挖潜开发生产技术, 做好现代油田管理, 本文分析了英国北海复杂断块砂岩YG油田的地震资料问题, 油藏流体连通性问题, 以及主力油层动用程度高、采出程度高、剩余油分布复杂、稳产难度大等生产问题, 提出了增产挖潜措施: 1) 新采集地震资料, 提高断层图像; 2) 通过对复杂断块YG油田断层连通性研究(包括断距-储层厚度关系对比, 示踪剂监测, 井间干扰压力测试, 流线分析, 地球化学色谱指纹), 进行油藏流体连通性研究; 3) 动态监测分析, 数模研究, 确定了开发潜力。最后找到了断块II南部的微构造、东南高部位区, 断块I东北等6个剩余油分布区, 总结了一套适合该地区评价老油田剩余油分布的3种类型和主要的4类挖潜方式。剩余油分布特点是: 1) 平面上主要分布在局部构造高部位或微构造高点、断层遮挡区、非主流线弱驱替区; 2) 纵向上层间主要分布在未动用层、局部动用差的层、受高含水层(段)干扰的其他层(段); 3) 层内主要分布在受韵律、夹层控制的层内动用不均区。挖潜方式: 1) 通过补射孔来动用纵向潜力层; 2) 通过新钻调整井, 来挖潜平面上的剩余油区; 3) 恢复注水, 解决低压井等生产问题; 4) 其他常规措施, 包括加深气举阀, 解堵增产等。

关键词

北海, 断块, 连通性, 剩余油, 挖潜, 增产, 评价

Evaluation and Application of Potential Development and Production Increase in YG Oilfield of Complex Fault Block

Chonghua Su

CNOOC International Energy Service (Beijing) Limited Company, Beijing

Received: Aug. 20th, 2021; accepted: Nov. 30th, 2021; published: Dec. 8th, 2021

Abstract

In order to evaluate the overseas production of nearly 30 years old and complex fault block sandstone oilfield has or hasn't the development potential, and reserve development and production technology in the low pressure, high water cut oil field, the problems of seismic data, fluid connectivity of reservoir, high production degree of main oil layer, high recovery degree, complex distribution of remaining oil and difficulty in stable production of complex fault block sandstone YG oilfield in North Sea, UK are analyzed in this paper. The measures for increasing production and exploiting potential are proposed as follows: 1) Acquire new seismic data to improve fault image; 2) Study on reservoir connectivity. Through the study on the fault connectivity of complex fault block YG oilfield, including the correlation between fault spacing and reservoir thickness, tracer monitoring, pressure test of inter well interference, streamline analysis, geochemical chromatography fingerprint, dynamic monitoring analysis, and reservoir simulation study, six remaining oil distribution areas were found, including the southern microstructure of fault block II, the southeast high area, and the northeast of fault block I. Three remaining oil distribution types and four increasing production methods in this area were summed up. The characteristics of the remaining oil distribution are: 1) On the plane, it is mainly distributed in local tectonic high parts or microstructural high parts, fault shading areas and weak displacement areas of non-mainstream lines; 2) The vertical layer is mainly distributed in the unutilized layer, the layer with poor local utilization, and other layers (sections) disturbed by high aquifers (sections); 3) The area in layer is mainly distributed in the uneven using zone controlled by rhythm and interlayer. The potential exploration methods are: 1) Use vertical potential layer by supplementary perforation; 2) Drill adjustment wells to excavate the remaining oil area on the potential plane; 3) Restore water injection to solve production problems in low-pressure area; 4) Other conventional measures including deepening of gas lift valves, plugging and stimulation.

Keywords

North Sea, Fault Block, Connectivity, Remaining Oil, Potential Exploration, Production Increase, Evaluation

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

目前国内外对“复杂断块油田挖潜增产潜力评价”在国内外报道的很少,大部分是针对重构地下认识体系[1],或通过精细油藏描述[2][3],或从三维地震资料分析入手,结合油藏动态资料[4],或在油藏评价研究的基础上[5]进行研究,或者只从储层或连通性单方面[6][7][8][9]研究,对“挖潜增产潜力”大小进行快速评价的太少,为了摸清海外断块油田潜力,本文进行了复杂断块油田挖潜增产潜力评价案例总结,提供给海外相关评价工作者借鉴。

2. 复杂断块砂岩 YG 油田特点

中海油英国北海 YG 油田水深 142 m,发现于 1983 年,由多个不同的油水界面的断块组成,属于断背斜构造的复杂断块油田,以边水构造油藏为主,海陆过渡带到浅海沉积环境,部分层发育浊积砂。纵

向上分 S 和 P 两套不同的油水系统, S 和 P 分别进一步分为 LS/US, LP/UP。大部分断块在井上有断层反应, 且地层厚度变化较大。油田原始压力系数 1.6, 属高压常温系统。渗流能力中 - 高, 生产井表皮系数大, 污染严重。目前 8 个断块中 6 个断块在生产。油田原油产量贡献较高的依次为三个主力断块 I、II、Ib, 因各块原油地饱压差大、地下油水粘度比接近 1, 故采用“边注高采”的开发模式。油田于 1993 年 9 月投产, 注水开发, 后期油井气举生产。

3. 油田开发存在问题

3.1. 地震资料问题

油田虽然曾进行了拖缆和 OBC 地震采集, 但目的层段地震分辨率低、成像质量差, 地震资料分辨率低(主频约 20 Hz, 目的层分辨厚度约 80 英尺), 对储层识别、断层解释带来很大的不确定性。目前油田仅仅解释了 KPT 这一个区域内同相轴连续性相对好、中强反射特征的层位, 下面 4 层主力油藏顶部深度无法解释。过去 YG 油田开发井的失败率达到 26%, 大部分失利井是因为: 1) 断面认识不清; 2) 钻在没储层的断裂带。

3.2. 油藏流体连通性问题

油田需要进行断块 Is, II, III 等油藏流体连通研究, 为油田后期挖潜提供常规措施研究和调整井井位研究支持。

3.3. 主力油层动用程度高, 采出程度高, 剩余油分布复杂, 稳产难度大

油田原油采出程度已高, 达到 49.5%, 目前综合含水 92%, 属于复杂断块老油田生产后期, 油田 2010 年后老井年自然递减率仍达到 13.3%。目前地下剩余油的分布十分零散和复杂, 部分断块数模研究工作没有开展, 或者因历史拟合差, 无法进行剩余油分布研究与预测, 给挖潜研究带来很大问题。

4. 挖潜增产潜力评价及应用

4.1. 新采集地震资料, 提高断层图像

现有地震资料不能识别储层, 且不同采集方式的地震资料显示的反射特征也不尽相同, 加上不同地质认识对地震解释的影响, 使得顶部构造解释存在较大不确定性。从目前来看, YG 油田仅采用接近油藏顶面的标志层 KPT 来构造成图, 显然不能满足开发现状的需要, 地震资料成像品质差给构造解释和断层归位带来不确定性, 时深转换需要更加精确的速度模型, 多方位的构造和断层需要多方位地震资料。另外, 当地政府要求油田在生产阶段, 应根据需要每 3~4 年采集 4D 地震。

目前在推进高密度、全方位宽频 OBN 地震重新采集, 以获得成像质量更高的资料, 降低地震解释的不确定性, 提高地质风险预测能力。后期调整井大多位于构造高部位和断层附近, 风险大, 对地震资料品质提出更高要求。高密度、全方位的 OBN 地震资料能够提高对复杂断块油田的认识, 高质量地震资料能提高开发井成功率。将三维地震重新采集纳入油田整体调整方案之中, 进行整体考虑, 可降低地质风险。

4.2. 油藏流体连通性研究

本文摸索研究出了一套判别复杂断层两边油藏流体连通性的几种方法:

4.2.1. 断距 - 储层厚度关系对比法

YG 油田存在 S 和 P 两套主力油层, 根据断距 d 与储层厚度 h 的关系, 可以把断层两边的地层对接

方式分为两种(见图 1): 1) 若断距 $d < h$, 则储层连接, 油藏流体连通; 2) 若断距 $d > h$, 则储层断开, 该情况表明在该点储层不连续, 但油藏流体连通; 具体油藏流体连通方式包括:

方式一、下降盘 P 地层与上升盘 P 和 S 地层均对接, 下降盘的 S 与上升盘的 S 层对接。

方式二、下降盘 P 仅与上升盘 S 地层对接, 下降盘 S 层存在剩余油。

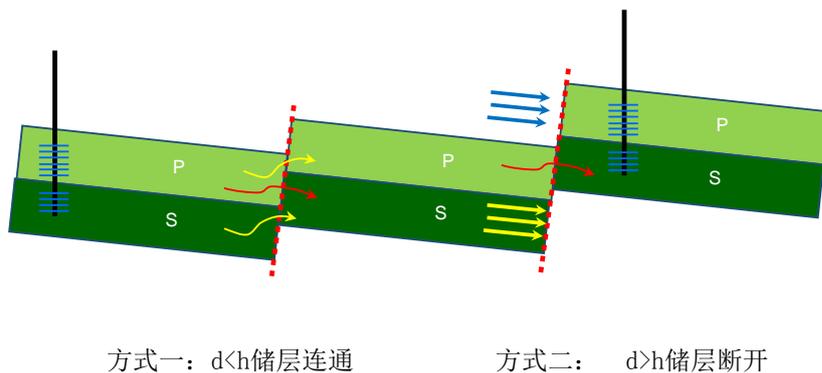


Figure 1. Schematic diagram of two docking modes of reservoirs on both sides of the fault

图 1. 断层两边储层 2 种对接方式示意图

方式一属于简单的地质油藏结构模式, 其特点是: 因内部小断层, 两层砂体连接, 断层连通, 两边压力差别小, 原油生产顺利; 反之, 方式二属于储层分开的地质油藏结构模式, 其特点是: 因断距 d 较大, 两层砂体分开, 脱离, 断层两边储层不连续, 但左边 P 油藏与右边 S 油藏流体连通, 左边 S 油藏原油生产不顺利, 是剩余油的聚集地。

该方法适合断层是开启的, 断层两边油藏压力一致, 影响开发效果的关键因素是储层厚度和断距大小。

4.2.2. 示踪剂监测法

为了分析 YG 油田 I, Ib, II 断块的储层均质性、油藏连通性及注采对应关系, 运用示踪剂监测技术, 从边部注水井注入氟苯甲酸等示踪剂, 通过受益井油样中的见剂时间、浓度、持续的见剂时间、见剂浓度峰值等参数, 分析得出注入井与受益井的连通关系, 进而对油藏流体是否连通做出判断。另外, 利用这些参数还可识别注入水的突进方向, 井间水窜通道。若某井示踪剂见剂浓度相对较高, 见剂速度快, 持续时间相对较长, 则可判定该井和注入井之间的水窜相对严重, 反之亦然。以下是 YG 油田 II 断块油层示踪剂注采井间对应关系示意图 2, 注水井分别是 A1z/A5/A6/A7/A8/A9。

该方法适合各种断层, 影响效果的关键因素是示踪剂的类型选取和监测。

4.2.3. 井间干扰压力测试法

当两口井在断层两边, 处于生产期时, 判断断层是否连通的直接办法就是进行干扰压力测试, 进行动态分析, 若压力明显相关, 说明油藏流体连通。

为了判断 YG 油田 II 断块 3 号断层两边 J26 与 J3z 之间是否连通, 监测了 J26 关井时的井底压力, 发现: 当 J3z 正常采油生产时, J26 井底压力缓慢上升; 当 J3z 也关井停产时, J26 井底压力上升加快; 当 J3z 再次开井时, J26 井底压力快速下降。这充分证明了 J26 与 J3z 之间的断层有连通的地方。结合断距-储层厚度关系对比法, 我们认清了该区断层的连通状况。

该方法适合各种断层, 影响效果的关键因素是压力计的灵敏度和开关井的时间长短。

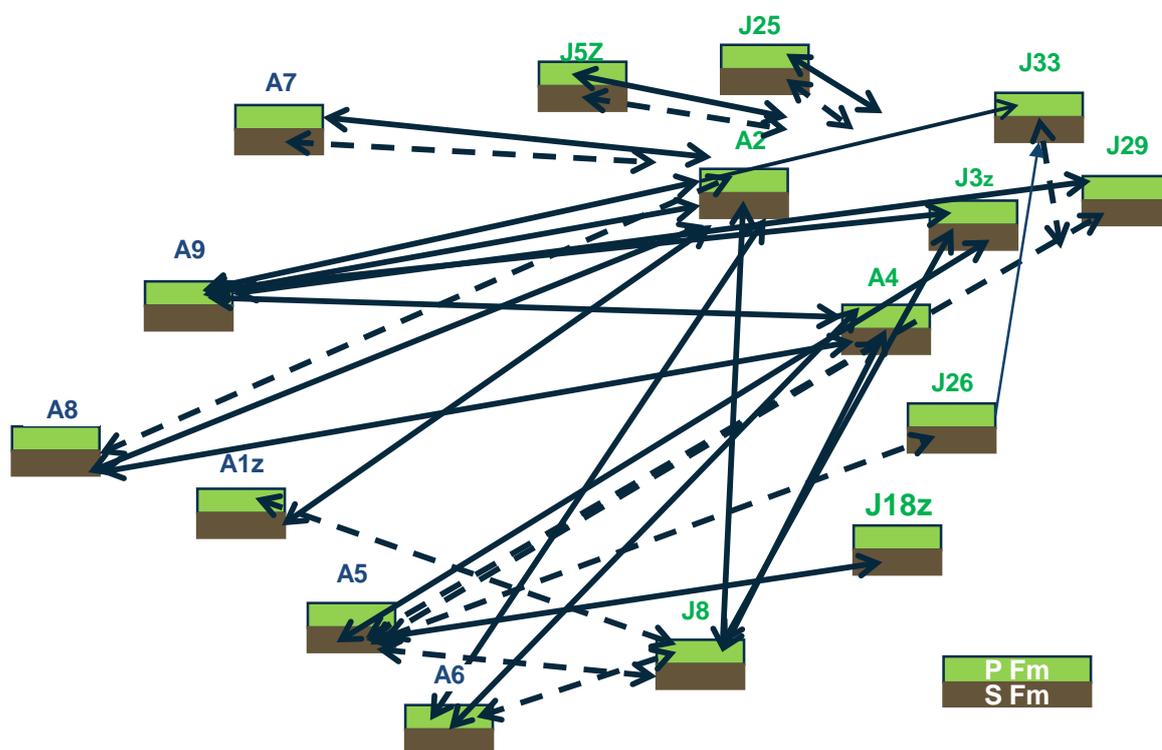


Figure 2. Diagram of corresponding relationship between tracer injection and production Wells in fault block II of YG oilfield

图 2. YG 油田 II 断块油层示踪剂注采井间对应关系示意图

4.2.4. 流线分析法

在生产动态数据较多时，可建立数值模拟模型并进行生产历史拟合，为了拟合断层两边生产井的压力、产量、含水率上升速度，需要对断层传导率进行修改，若修改后两井间仍有流线经过，说明断层连通；井间流线越密，说明连通性越好，剩余油饱和度就越低，挖潜潜力也越小；若断层一边没有流线，则断层这侧存在剩余油分布的潜力。

该方法适合断层两边岩性一样，影响效果的关键因素是生产动态数据的丰富程度和模型的历史拟合效果。

此外，还可利用地球化学色谱指纹方法：通过对断层两侧油样进行原油全烃色谱指纹、原油饱和烃生物标志物，进行地球化学实验分析。根据生物标志物参数等实验数据重复对比分析，判定两侧油源是否相同。若气相色谱、质谱指纹峰对参数相关性均在 0.9 以上，可认为断层两侧的流体连通。

该方法可指导油田高产油气井排液转注时机及注采井网调整方案，具有成本低，操作简单，时效高等优点，可以在油田开发调整中推广应用，提高油藏方案决策水平。但也有相关性好却不连通的小概率存在。

4.3. 挖潜增产潜力评价

因 YG 各断块独立开发，故分别作为开发单元进行标定，共 8 个标定单元，见图 3 YG 油田平面分区标定图。结合油田储层、流体性质、油藏类型和油田开发阶段，可采储量标定计算方法使用动态法计算油田可采储量。先分别用水驱特征曲线法，递减曲线法，童宪章图版法，数值模拟法，进行油田及各断块采收率标定，然后根据采收率标定与采出程度差异，结合动态监测资料，研究判断剩余油分布特征。

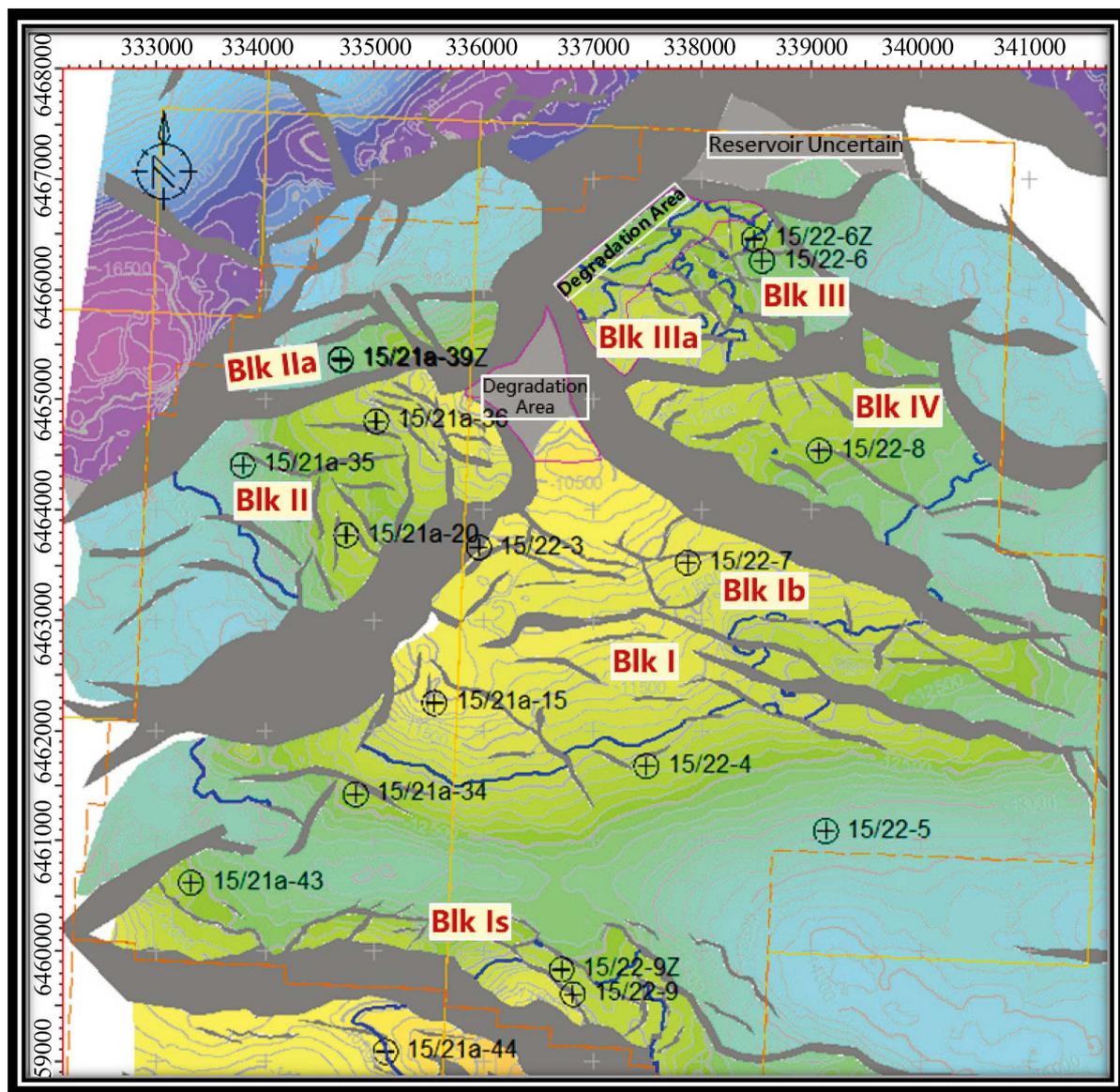


Figure 3. Calibration diagram of YG oil field plane partition

图 3. YG 油田平面分区标定图

YG 油田 2005 年以来基本保持注采平衡, 老井年自然递减率 13.3%。近年通过共计 18 井次工作量: 11 口井进行层位转换、1 口井进行微生物驱替以及新钻调整井减缓产量递减, 原油产量基本稳定, 采油速度 0.30%~0.35%, 增产措施效果见表 1。

结合 YG 油田生产动态分析, 经过对近年动态监测资料, 对油田剩余油的挖潜潜力进行分析评价, 总结出了油田主要剩余油类型及主要挖潜策略, 见下表 2, 根据剩余油的空间分布情况, 平面上主要分布在局部构造高点或微构造高点、断层遮挡区、非主流线弱驱替区, 纵向上层间主要分布在未动用层、局部动用差的层、受高含水层(段)干扰的其他层(段), 层内主要分布在受韵律、夹层控制的层内动用不均。

通过对 YG 油田分断块、分层系开展单井、井区剩余油的潜力分析, 分类提出 3 口调整井和 3 井次补孔挖潜工作量; 结合 8 井次的注水管线维修恢复注水、4 井次常规措施, 合计措施潜力井 18 井次, 预计初期日增油 10,007 桶、累增油 16.09 百万桶, 见下表 3:

Table 1. Statistical table of effect of stimulation measures in YG oilfield in recent years
表 1. YG 油田近年增产措施效果统计表

序号	断块	井号	措施类型	层位	措施前(日产)					措施前(日产)					日增					措施累增				
					日产油 (BBL)	日产气 (MMSCF)	日产水 (BBL)	含水 %	日产油 (BBL)	日产气 (MMSCF)	日产水 (BBL)	含水 %	日产油 (BBL)	日产气 (MMSCF)	日产水 (BBL)	含水 %	日产油 (BBL)	日产气 (MMSCF)	日产水 (BBL)	含水 %	日产油 (BBL)	日产气 (MMSCF)	日产水 (BBL)	含水 %
1		J35	补孔	LP	615.1	0.4	6114.7	90.9	563.9	0.4	3740.7	86.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
2		J30	补孔	LP	0	0	0	0	43.9	0	14,777.1	99.7	43.9	0	731.5	0	731.5	0	731.5	0	731.5	0.7		
3			卡层补孔	US	1614.2	0.9	20,588.5	92.7	823.2	0.4	25,665	96.9	823.2	0.4	257,235.3	148.7	257,235.3	148.7	257,235.3	148.7	148.7			
4	I		补孔	LP	447.4	0.2	18,411.5	97.6	2234.6	1	10,796.8	82.9	1787.2	0.8	40,417.7	17.9	40,417.7	17.9	40,417.7	17.9	17.9			
5		J34	解封合采 LS	LS	270.4	0.1	10,643.6	97.5	3121.8	2	19,493.8	86.2	2851.4	1.8	951,312.3	793.7	951,312.3	793.7	951,312.3	793.7	793.7			
6			卡封 UP	LP	2256.4	0.7	6910.6	75.4	2772.2	1.5	12,604	82	515.9	0.8	63,489.5	63.1	63,489.5	63.1	63,489.5	63.1	63.1			
7		J17	补孔	LP	1120.6	1.1	11,833.4	91.3	1702.6	1.5	10,176.9	85.7	582	0.3	60,801.9	26.5	60,801.9	26.5	60,801.9	26.5	26.5			
8	Ib	J39	卡封补孔	UP/LP	81.6	0.1	1784	95.6	13.7	0	5246.5	99.7	13.7	0	670.2	0.6	670.2	0.6	670.2	0.6	0.6			
9	II	J29	卡封补孔	LP	0	0	0	0	5784.8	6.6	3858.7	40	5784.8	6.6	2,802,247.2	3555.7	2,802,247.2	3555.7	2,802,247.2	3555.7	3555.7			
10	IV	J12Y	卡封换层	LP	0	0	0	0	1689.5	1.3	1	0.1	1689.5	1.3	464,454.3	352	464,454.3	352	464,454.3	352	352			
11	IV	J22	补孔	LP	492.3	0.4	4548.1	90.2	591.6	0.5	4341.4	88	99.3	0.1	24,305.3	26.1	24,305.3	26.1	24,305.3	26.1	26.1			
12	I	J17	OOR	UP/LP	977.2	0.4	9089.8	90.1	2325.7	0.5	15,508.3	86.8	1348.5	0.1	44,293.2	44.2	44,293.2	44.2	44,293.2	44.2	44.2			
合计:															4,709,958.4					4985				

Table 2. Distribution types of remaining oil in YG oilfield and adjustment strategies for potential development
表 2. YG 油田剩余油分布类型及挖潜调整策略

分类	剩余油类型	调整挖潜策略	工作量/口
平面	局部构造高点未动用型	调整井	3 + 3 (ST35、ST79、ST18 ST38/39/48)
	断层遮挡型		
	非主流线弱驱替型	优化注采结构、改变流线方向	
层间	未动用层	补孔	3 (J16、E2Z、B2)
	局部动用差的层	重新射孔生产	
	高含水层/段 干扰其他层/段动用型	封堵高含水层	
层内	受韵律、夹层控制的层内动 用不均	① 若剩余储量多，部署水平井； ② 剩余储量少，老井重新射孔，补 射低含水层，避射强水淹层	1 (E1Y)

Table 3. Statistical table of research results of potential stimulation measures in YG oilfield
表 3. YG 油田挖潜措施研究成果统计表

断块	序号	井号	措施内容	初期日产增油	累增油量	排产时间
				bb1	MMbb1	
I	1	E2Z	补孔	1000	0.92	2022/3/1
	2	J4	南区恢复注水	450	2.79	2022/3/1
	3	J44	南区恢复注水	500	0.81	2022/3/1
	4	E2Z	南区恢复注水	630	1.83	2022/3/1
	5	J1 井区	新钻井	1887	1.73	2024/6/1
	6	J16	恢复 US/LP、补孔 UP	420	0.72	2022/7/1
	7	E1Y	PLT 测试卡水补孔恢复	600	0.57	2022/11/1
II	1	J29	恢复注水	186	0.57	2021/5/1
	2	J42	恢复注水	244	0.55	2021/5/1
	3	J8 井区	新钻井 ST79	1300	1.37	2020/8/1
	4	J29 东井区	新钻井 ST35	1300	1.63	2022/12/1
IV	1	J23Z	恢复注水	250	0.53	2021/7/1
	2	J24	恢复注水	190	0.21	2021/7/1
	3	J12Y	恢复注水	450	0.75	2021/7/1
常规措施	1	J23Z	加深气举阀	100	0.18	2022/7/1
	2	B2 井	解堵	100	0.54	2023/7/1
	3	J28	加深气举阀	200	0.27	2021/7/1
	4	J44	加深气举阀	200	0.12	2021/11/1
合计				10,007	16.09	

YG 油田剩余油分布及挖潜增产潜力评价为以下四类：

第一类：纵向动用不均 - 补射未动用层。E2Z 井位于单独构造单元内，构造位置高。E2Z 井 P 层未动用，根据数模计算结果，E2Z 井 P 层剩余地质储量 4.761 百万桶，具备挖潜潜力。E2Z 井与 9Z 井进行

对比, E2Z 井 UP 层厚度更大, 物性更好。参考 J9Z 井, 结合数模结果, 预测 E2Z 井, 初期增油日产油 1000 桶左右, 增油 0.92 百万桶。J16 井封堵 LS 层、恢复 US/LP、补孔 UP 合采。

第二类: 平面剩余油挖潜 - 钻调整井。根据邻井生产历史分析, 潜力区低部位油井停产时间较早、停产前单井产量高。J1 井 2006 年已侧钻, 目前井区无井控制。调整井目标区构造位置较高, 目标区储层平面分布稳定、纵向上地层发育全; 目标井区剩余地质储量: 6.141 百万桶。调整井设计在 2022 年 7 月 1 日投产, 新油井最大日产液量 12,000 桶, 最小流压 4500 psi, 初期日产油 1988 桶, 累产油 1.73 百万桶, 累增油 1.10 百万桶。

第三类: 注水恢复。2020 年 3 月, 南区注水因管线原因停注, 导致单井产液量快速下降。以 J4 井为例, 注水井停注后日产液下降了 12,048 桶, 日产油下降了 650 桶。南区注水管线恢复后, 对应在生产井 3 口, 按照油井产量恢复至停注前产量(扣除自然递减产量后), 3 口井累计初期日增油 2580 桶。

第四类: 其他常规措施, 包括加深气举阀, 解堵增产等。

5. 结论

快速评价海外复杂断块老油田潜力, 可以通过解决油田存在的问题找到挖潜增产措施。本文通过新采集合适的地震资料, 提高断层图像, 进而提高开发井成功率; 通过 5 种油藏流体连通性分析研究, 动态监测分析和数模研究, 找到了断块 II 南部微构造、东南高部位区, 断块 I 东北等 6 个剩余油分布区, 最后总结了剩余油分布的 3 种类型和主要的 4 类挖潜增产方式, 为实现增产作出了贡献。

致 谢

衷心感谢中海油国际公司各位同事的工作帮助与支持, 特别是海外技术支持中心的同事, 感谢中海油欧洲公司提供的相关资料与帮助。

参考文献

- [1] 刘文岭, 王大星, 萧希航. 复杂断块油藏重构地下认识体系与潜力评价——以大港油田典型区块为例[M]. 北京: 石油工业出版社, 2017.
- [2] 袁强, 侯磊, 宋鹏军. 文留油田复杂断块油气藏剩余油挖潜方法研究[J]. 工业, 2015(5): 197.
- [3] 武玺, 芦凤明, 等. 复杂断块特高含水油田高精度油藏描述关键技术与工业化应用[Z]. 中国石油天然气股份有限公司大港油田分公司, 中国石油大学(北京), 中国地质大学(武汉)等课题应用技术, 2020-07-28.
- [4] 吴小张, 江聪, 王龙, 张博, 温慧芸. 基于地震及动态资料评价复杂断块油田潜力[J]. 长江大学学报(自科版), 2018, 15(19): 22-25.
- [5] 刘松广, 张立亚. 十屋油田复杂断块油藏评价及潜力分析[J]. 内蒙古石油化工, 2010(12): 147-150.
- [6] 陈筱, 卜范青, 王昊, 陈国宁, 张旭. 西非深水浊积复合水道油藏流体连通模式表征[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2018, 40(6): 35-46.
- [7] 丁耀. 高含水油藏井间动态连通性反演方法应用研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国石油大学(北京).
- [8] 于喜艳. 海上油田断层两侧连通性的识别方法研究与应用[J]. 胶体与聚合物, 2020, 38(3): 112-115.
- [9] 王亚青, 尚凡杰, 武静, 于斌. 延长测试在深水复杂油藏连通性研究中的应用[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2019, 21(6): 36-40.