

科威特北部油田钻完井工程技术进展

张俊¹, 陈诚²

¹中国石化西南石油工程有限公司科威特项目部, 湖南 长沙

²中国石化国际石油工程有限公司科威特分公司, 北京

收稿日期: 2024年3月14日; 录用日期: 2024年6月20日; 发布日期: 2024年6月30日

摘要

Raudhatain和Sabiriyah油田属于科威特北部深层砂岩油田, 主要产油层为三角洲Burgan组砂岩、Zubair以及Mauddud地层的浅海碳酸盐岩, 相比于科威特南部, 钻完井及排采系列工程技术面临钻井周期偏长、井筒流动规律复杂等挑战。针对复杂的地质挑战, 不断深化地质认识, 深度融合油藏地质与工程技术, 围绕快速建产, 持续攻关钻采工程工艺, 历经三轮探索优化, 钻井技术强化, 减少井下复杂风险, 缩短钻井周期, 运用排井钻机施工减少搬迁时间; 排采工艺基于不同层位完井方案, 形成排井模块化工艺决策方法, 最终形成了以“精细轨迹控制优快钻进”、“水平井各向异性中靶目的层”、“注水加快有效排采”为核心的工程技术序列, 为科威特深层油气工程技术发展积累了宝贵经验, 也为下一步优化开发方案提供了探索方向。

关键词

Raudhatain和Sabiriyah, 油藏, 钻完井, 快速建产, 水平井, 探索

Technical Progress of Drilling and Completion Engineering in Northern Kuwait Oil Field

Jun Zhang¹, Cheng Chen²

¹Kuwait Project of Southwest Petroleum Engineering Company, Sinopec, Changsha Hunan

²Kuwait Project, Sinopec International Petroleum Service Corporation, Beijing

Received: Mar. 14th, 2024; accepted: Jun. 20th, 2024; published: Jun. 30th, 2024

Abstract

The Raudhatain and Sabiriyah fields are deep sandstone fields in Northern Kuwait, mainly pro-

文章引用: 张俊, 陈诚. 科威特北部油田钻完井工程技术进展[J]. 石油天然气学报, 2024, 46(2): 275-284.

DOI: 10.12677/jogt.2024.462034

ducing shallow Marine carbonate rocks in the Delta Burgan Formation, Zubair and Mauddud formations. The engineering technologies of drilling, completion and production are faced with such challenges as long drilling cycle and complex wellbore fluid flow. In response to complex geological challenges, we continue to deepen geological understanding, deeply integrate reservoir geology and engineering technology, focus on rapid production construction, continue to tackle drilling and production engineering technology, after three rounds of exploration and optimization, strengthen drilling technology, reduce complex downhole risks, shorten drilling cycle, and reduce relocation time by using Pad-well drilling rig construction; the Pad-well and production process is based on the completion plan of different formations, forming a modular process decision method of Pad-well, and finally forming an engineering technology sequence with the integration of “precisely trajectory control optimal fast drilling”, “horizontal well anisotropic target zone”, and “water injection accelerated and effective Pad-well and production”, which has accumulated valuable experience for the development of deep oil and gas engineering technology in Kuwait. It also provides the exploration direction for the next step to optimize the development scheme.

Keywords

Raudhatain and Sabiriyah, Oil Reservoir, Drilling and Completing Wells, Rapid Production, Horizontal Well, Explore

Copyright © 2024 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

科威特面积约 17,870 平方公里, 石油产量居世界第七位, 科威特多数大油田都位于北部(见图 1)。科威特南部 Greater Burgan 油田开采原油 API 重度为 28°~36°, 为中到轻质, 产量大约占到科威特原有生产总量的 50%, 日产量为 170 万桶/天; 科威特第二大油田为北部的 Raudhatain 油田, 产量为 35 万桶/天。紧邻 Raudhatain 的 Sabriya 油田, 产量为 10 万桶/天。Ratqa 边境油田(延伸到伊拉克的南部 Rumaila 构造)及较小的 Abdali 油田产量分别为 4.5 万桶/天和 3 万桶/天, 科威特其余产量集中在西南部的 Umm Gudair、Minagish 和 Abduliyah 油田, 西部 Umm Gudair 和 Minagish 油田生产的原油 API 重度 22°~26°, 主要集中在中等重度范围, 储层质量一般由岩性组分含量控制[1]。科威特北部含油气层段深度在 7400~8000 ft 之间, 2005 年通常存在自喷压力, 有实验数据表明储层温度为 170°F 时, 原油的 API 值为 25°至 30° [2]。

随着中深层水平井钻完井及采用打注水井提高采收率等方法, 建立了“工厂化”作业模式, 科威特北部油区钻采技术针对地层研磨性强、碳酸岩盐非均质性、钻井周期偏长等难题[3], 通过破岩工具研发优选、井身结构简化、钻井装备配套、钻井液体系优化和钻采一体化等 5 个方面持续攻关, 形成钻井提速技术模板; 同时针对下白垩系白云岩漏失层带来的井下复杂情况, 采取边漏边钻的钻井方式。注水井网的布井技术则聚焦地质工程一体化, 通过油藏外 + 排井间局部注水 + ICD 完井工艺促进油藏储运网形成, 提高采收体积, 注水工艺以产量最大化为目标, 针对不同阶段的生产特征, 综合考虑供水量、井深、油压、气液比等因素[4]-[6], 在不同阶段选用差异化注水使工艺埋深 6000~7000 ft 的砂岩及碳酸岩盐层获得优良的油气产量, 成为科威特白垩系增储上产的后备阵地。

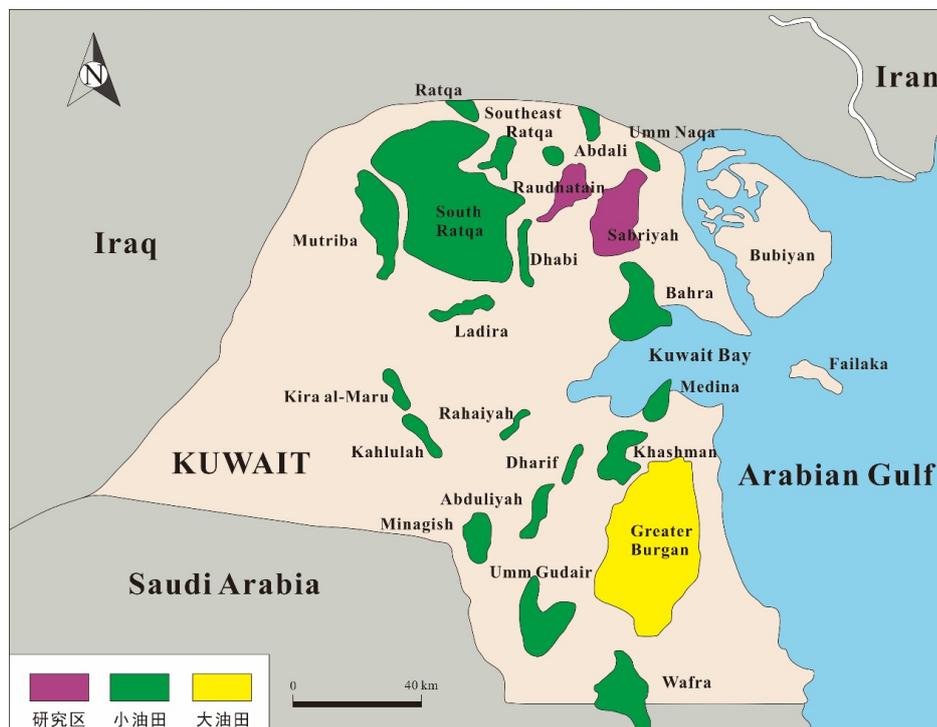


Figure 1. Oil and gas distribution in Kuwait
图 1. 科威特油气分布图

2. 科威特北部 Raudhatain 和 Sabriya 油田地质工程概况

科威特北部 Raudhatain 和 Sabriya 油田油藏埋深在 7400~8000 ft 之间(见图 2), 分别位于北北东向科威特科威特穹窿的西侧和顶部, 主要生产层是上 Burgan 砂岩、下 Burgan 砂岩和 Mauddud 石灰岩, 此外, Zubair 地层是 Raudhatain 油田的又一个生产单元(见表 1)。上 Burgan 组是 Raudhatain 和 Sabriya 油田的四个主要储层之一, 尽管该油藏已投产约 40 年, 但仍然是科威特油气上产的优质储层, 突出了上 Burgan 砂岩油藏的二次开发机会。为了优化开发和采收率, 需要精确定义一个优质钻采模型[7]-[9]。

Table 1. Geological engineering parameters between RA and SA block, Northern Kuwait
表 1. 科威特北部 RA 与 SA 区块地质工程参数

油田名称	储层	温度(°C)	压力(psi)	绝对无阻流量(bbl/d)	绝对无阻流量(Kg/s)
Raudhatain (RA)	Mauddud	73.3	500	1200	1.9
	Upper Burgan	76.7	780	1200	2.09
	Middle Burgan	68.3	900	3000	4.89
	Lower Burgan	82.2	1000	9000	14.22
	Zubair	76.7	1500	20,000	31.8
	Ratawi	76.7	1500	3000	4.77
Sabriya (SA)	Mauddud	73.3	850	1200.0	2.01
	Tube	48.9	950	5000.0	8.43
	Upper Burgan	76.7	780	1200.0	2.07

续表

	Middle Burgan	76.7	783	1250.0	1.97
Sabriya (SA)	Lower Burgan	48.9	1100	9000.0	14.27
	Zubair/Ratawi	76.7	1508	1500.0	2.38

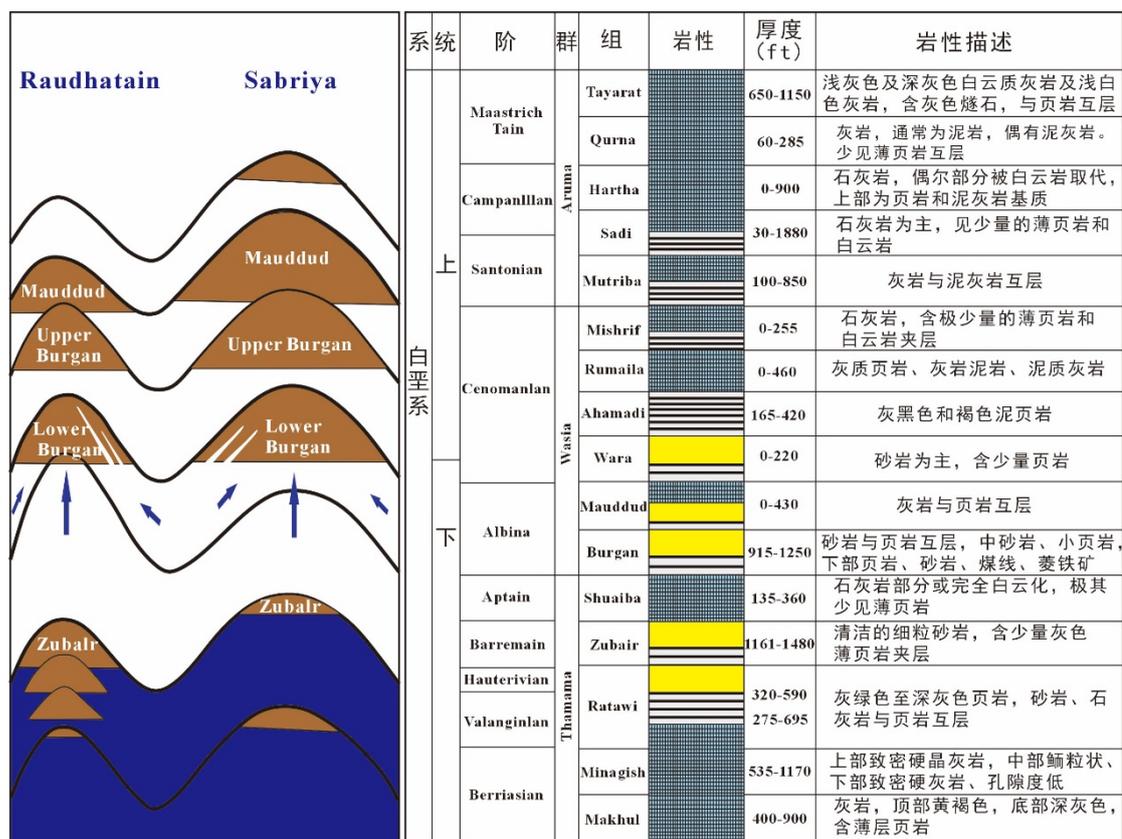


Figure 2. Simplified table of reservoir layers and encountered Cretaceous strata in Raudhatain and Sabriya oil fields
图 2. Raudhatain 和 Sabriya 油田储层与钻遇白垩系地层简表

通过科威特北部 Raudhatain 和 Sabriya 工程技术历程回顾总结, 不断深化钻井与地质技术认识, 固化成熟的钻井配套技术方案, 持续加强应对井下复杂挑战, 为科威特北部工程技术积累经验。各大石油公司相继开展了各类智慧油田项目, 如壳牌的智能油田建设、BP 的未来油田、Statoil (挪威) 的“整合运营项目”、科威特的数字油田探索与开发等, 2018 年以后, 科威特石油公司开始转向利用以大数据样本为基础的多种方法实现钻井数据同步传输分析, 提高了油气田开发速度[10]-[14]。

3. 钻完井技术历程

科威特北部油气钻井技术历经探索、巩固、升级、加速 4 个阶段(见表 2), 通过不断持续攻关与探索, 在钻完井速度、水平井完井增产[15]、排井钻机、钻采一体化等方面均取得了效益, 形成了以“精准轨迹控制优快钻井”、“裂缝扩充”、“注水工艺”为核心的成套钻采技术。

科威特北部油田严格按照日费制管理方案进行管理, 充分发挥日费制在管理效率和工程新技术集成应用方面的优势, 强化甲方对目标井的管理责任[16], 实现管理过程的优化和生产运行的紧密结合; 技术方面, 可针对性制定了各井段提速破岩方法, 优化各开次的钻具组合, 引入了大尺寸进口螺杆、斯伦贝

谢旋转导向工具、哈利伯顿 ICD 完井技术等高效钻完井提速工具[17]-[20], 后期优选贝克休斯牙轮 PDC 混合钻头, 研制了随钻暂堵防塌钻井液, 形成了综合高效钻井综合技术。

Table 2. Drilling process of oil and gas field in Northern Kuwait
表 2. 科威特北部油气田钻井工艺历程

期限(年)	阶段	单井钻井周期 (d)	典型井储层	无阻力 FLOW 压力 (psi)	先进工艺
2010~2014	探索	>60	Mauddud	120	PDC 钻头 + 螺杆
2015~2017	巩固	50	Zubair	320	PDC 钻头 + 旋转地质导向
2018~2020	升级	35	Zubair	289	排井、旋转地质导向
2021~2023	加速	30	Lower Burgan	190	排井、牙轮 PDC 混合钻头运用

4. 钻井技术进展

以深化地质认识, 深度融合油藏地质与钻井技术, 围绕降本增效, 突破深层砂岩钻采效益为目标, 持续攻关钻井技术, 持续推进效益开发进程[21]。

4.1. 钻井技术历程

以实现安全优快钻完井为核心, 开展井身结构优化设计、破岩工具优选、主动预防保障措施集成攻关研究, 形成了以“精细轨迹控制优快钻井”为核心的钻井技术体系。

4.1.1. 井身结构优化设计

针对北部油井压力体系和故障特点, 采用由上而下和由下而上的井身结构设计方法, 综合考虑压力剖面、地层漏失、钻井液密度, 压差卡钻等因素, 按提高采收率和利于提速优化设计形成三开制注水井与五开制水平井井身结构, 调整过程(见图 3)如下:

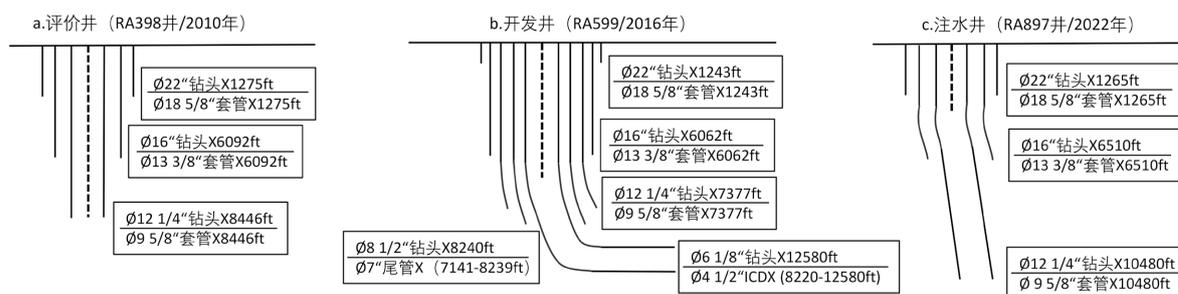


Figure 3. Drilling structure design in Northern Kuwait oil field

图 3. 科威特北部油田钻井井身结构设计

4.1.2. 破岩工具与参数优化

开展分段钻头研选, 选用大扭矩进口螺杆提高破岩效率[22], 强化钻井参数, 配套 F-1600 钻井泵陶瓷缸套、350T 顶驱, 充分利用水力机械联合破岩, 形成以“钻头优选、工具选配、参数强化”为核心的优快钻井技术(见表 3)。该技术提速提效显著, RA 区块五开制水平井 2023 年平均钻井周期 33.9 d, 相比 2015 年提速 23.9%。其中 RA-952 井, 完钻井深 11,488 ft, 钻井周期 31.875 d, 为 RA 区块五开制水平井钻井周期最短记录。

Table 3. Comparison of drilling parameters optimization**表 3.** 钻井参数优化对比

开次	钻头 (\varnothing /inch)	型号	钻压 /Kib	排量 (GPM)	转速 (R/M)	优化后钻压 (Kib)	优化后转速 (R/M)	优化后排量 (GPM)
一开	22	XT1A1GRC	5~30	300~850	70~80	20~50	80~120	300~820
二开	16	T44、 GSi16BVECPs、 GTX-C18SH、 KYM633FX	35~60	650~750	85~100	40~55	40~70	700~780
三开	12 1/4	MDI1616LBPX、 XS616S、 MDS1616LBPX、 VM616GX	40~45	800	120~130	15~30	125	780
四开	8 1/2	CH3GMRS、 TD507FX、 HCP506PX、 MDI616LPXG	15~30	500~550	80~90	10~25	(40~80)/125	600~630
五开	6 1/8	VRT613DGX HCD406Z、 RSF613、 CH1GMRS	5~15	275	110~120	10~15	90~110	330

4.1.3. 二开预防安全钻井

针对科威特北部区块白云岩溶蚀性孔隙发育钻井优化, 二开井段从 Radhuma 到 Mutriba 地层, 设计井斜控制在 12 度以内, 安装 21-1/4"防喷器组预防浅层气溢出, 同时优化防漏堵漏措施, 针对 Tayarat 溶洞性地层, 使用 40 ppb 中颗粒堵漏剂, 配合稠浆, 每打完立柱后泵入, 形成安全钻进技术。通过北部二开井段完钻井型综合分析, 二开钻井液密度窗口为 9.0~9.2 PPG, 粘度 31~35 S, 未出现溢流复杂情况。通过定向轨迹优化及钻井液防漏堵漏, 近五年二开钻井井下复杂故障率逐年降低(见图 4)。

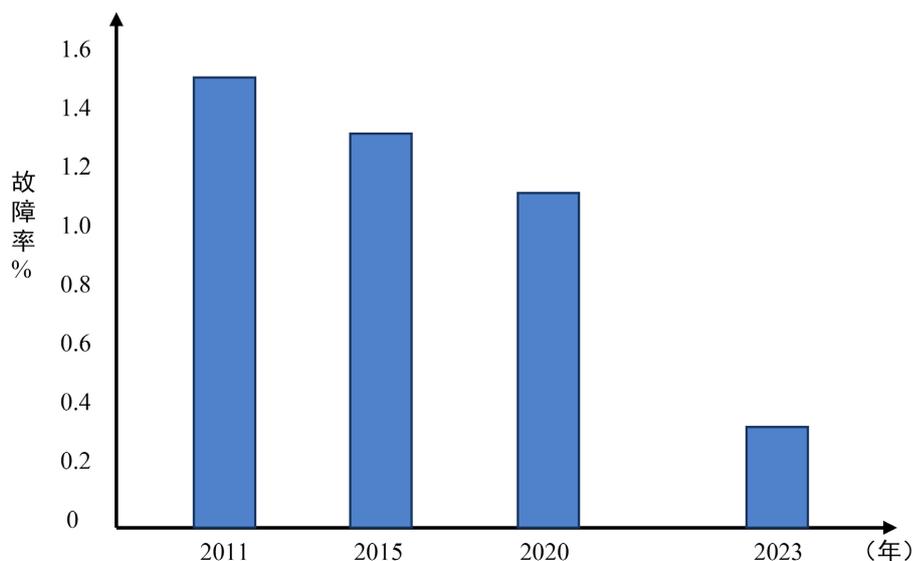


Figure 4. Statistics on downhole failure of the second drilling section of RA and SA block in Northern Kuwait

图 4. 科威特北部油区 RA 与 SA 区块二开井下故障率统计

4.1.4. 优化钻井液设计

以 2017 年施工 Zubair 五开结构水平井 RA627 井为例, 钻井液设计(见表 4), 采取“膨润土钻井液 - 低固相聚合物钻井液 - 油基钻井液 - 油基钻井液 - 水基油层保护钻井液”, 二开采用低固相聚合物钻井液优快钻进, 适当配比中细颗粒的随钻堵漏剂封堵二开井段漏失层, 三开、四开采用油基泥浆穿过易垮塌泥页岩[23], 同时油基泥浆的高润滑性降低钻进时扭矩和上提下放摩阻, 五开转换成低固相的水基油层保护钻井液钻开油气层。

RA 区块与 SA 区块三开、四开应用油基钻井液体系, 油基钻井液的低失水预防四开水敏性强的页岩垮塌, 同时油基钻井液的高润滑性大大降低钻进时扭矩和摩阻, 五开使用低固相的水基油层保护钻井液钻开油气层。

Table 4. Mud design of oil fields in Northern Kuwait

表 4. 科威特北部油田钻井液设计

开次	钻头(Ø/inch)	钻遇地层	泥浆类型	泥浆密度(PPG)	马氏粘度(S)	ECD
一开	22	Dammam	膨润土	9.5	50	9.6
二开	16	Dammam-Mutriba	低固相聚合物	8.9~9.4	41	9.5
三开	12 1/4	Mishrif-Shuaiba	油基	9.6~11.1	47	9.35
四开	8 1/2	Shuaiba	油基	11.8~12.1	79	12.43
五开	6 1/8	Zubair	低固相聚合物	8.8~9.0	27	-

4.2. 技术改造

以增大有效改造体积为目标, 以密切割、强支撑为关键, 提高单井改造效果, 开展裂缝优化配置、提高裂缝纵向延伸、强化裂缝有效支撑研究, 形成了以“裂缝均衡扩展增强缝控储量”为核心的储层改造技术体系。

4.2.1. 裂缝优化配置

建立综合可压性评价方法, 如 2015 年 1 月 8 日, 中石化华北项目 SP*** 井队施工 SA372 钻进至斜深 12,907 ft (垂深 7623 ft), schlumberger 公司下连续油管至斜深 11,424 ft, 起钻至 8100 ft, 起连续油管(共 7.5 小时)对 Mauddud-B 地层注酸液, 共注入 HCL: 380 桶(BBL), SXE: 1117 桶(BBL), VDA: 321 桶(BBL), 后下完井电泵获得高产(见表 5)工业油气流。

Table 5. SA372 test information on fracturing reconstruction

表 5. SA372 井压裂改造后油井测试数据

RATE (BPD)	WHP (psi)	W/C (%)	CHOKE SIZE (in/32)"
1981	40	85	128 + 128
1763	219	65	32
1650	401	50	24
1500	571	45	20

4.2.2. 提高水驱横向延伸

研究区 Burgan 组被 Mauddud 组的浅海碳酸盐岩和页岩整合覆盖, Mauddud 储层的地层演化及其成

岩改造作用, 加上沉积后的压裂和断裂作用, 形成了储层的非均质性, 其中最重要的是水平渗透率与垂向渗透率的关系, 成为科威特北部 Raudhatain 和 Sabriya 油田油藏开发的主要挑战。由于 Mauddud 油藏的水驱效应还不成熟, 将对油井的影响将在后期开发中得以显现。

4.3. 采油及地面技术进展

以提高采收率统筹高效开发为目标, 识别深层油气井井筒流态, 建立基于地层无阻 FLOW 压力、井筒流型的差异化排采技术对策, 形成了 Pad-well 钻采一体化工程技术(见图 5)。

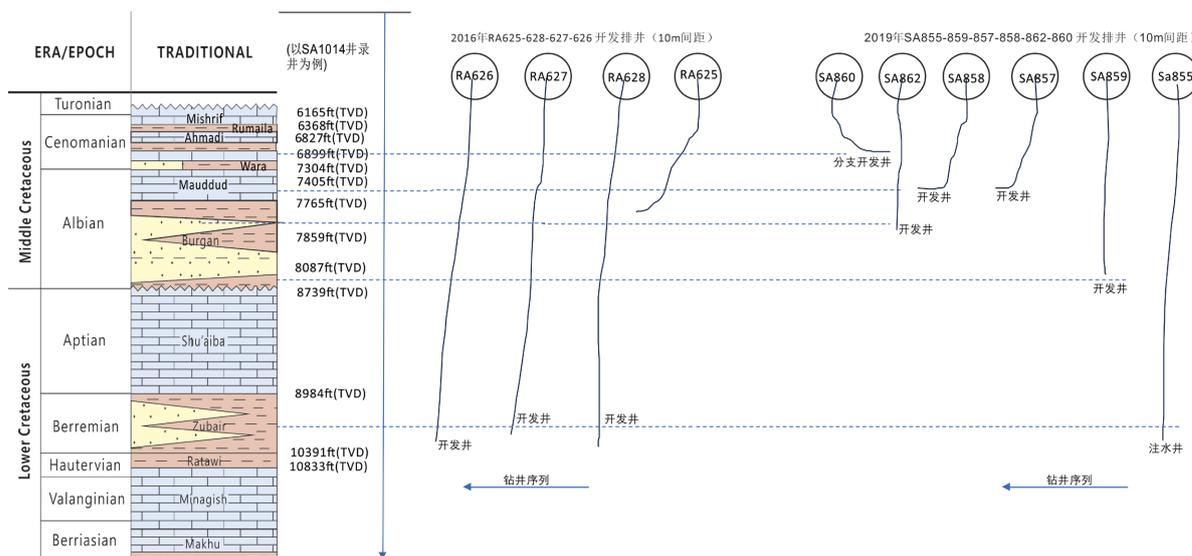


Figure 5. Pad-well deployment scheme in SA and RA blocks, Northern Kuwait

图 5. 科威特北部 SA 与 RA 区块 Pad-well 布井方案

4.3.1. 对比井筒无阻 FLOW 压力

利用钻完井电泵试采数据, 分析井筒储层 FLOW 压力, 结合不同储层在 RA 区块与 SA 区块范围所对应的流体运移状态, 明确科威特北部油田不同阶段井筒压力模型, 统筹与决策开采有利目的层位。

4.3.2. 差异化排采技术

根据长周期钻采一体化技术, 初期能量充足(无阻力 FLOW 压力大于 200 psi)时选择自喷井完井, 中期能量下降(无阻力 FLOW 压力小于 200 psi), 根据试采数据, 结合地层自身能量及储层特征, 局部区域部署 10 m 间距排井钻采, 在 5~8 口井中设计不同有利储层钻完井从而差异化提高采收率。

4.3.3. 优化排井开采模型

受储层无阻力 FLOW 压力降低、地层出砂等因素影响, 2016 年开始科威特石油公司开始部署排井钻机施工, 如: 2019 年部署的 SA855-859-857-858-862-860 井, 设计 5 口开发井(目的层分别为 Lower Burgan、Upper Burgan、Mauddud、Upper Burgan 与 Wara)与 1 口注水井(目的层为 Zubair), 其中 SA860 井设计为分支井, 优化了排井开采模型, 并利用边界井的注水水驱作用提高了整体排井的有效采收率。

5. 挑战及攻关方向

5.1. 钻井工程

区域地质情况复杂、多压力系统, 井漏、溢流以及卡钻、工具故障等问题增加了钻井周期, 由于二

开、五开水平段钻井时间普遍偏长。2019年后二开采取牙轮 PDC 混合钻头快速钻进, 并优化中完及完井工序, 二开中完下 13 3/8"套管前, 通过长短起处理井筒替代专项通井, 强化工序衔接, 可减少施工时间 1~2 d, 五开采取 PDC + 旋转地质导向工具钻进, 精确定位中靶目标, 尽量一趟钻完成五开井段进尺, 2016年后部署排井钻机, 有效缩短搬迁时间, 完井尽可能采取电泵完井或 ICD 完井增加日产量。

5.2. 注水工程

在科威特北部最初的上部 Burgan 地层采取外围注水方案(1995/2005年), 地质分析表明, 储层内的连通性更高(如: Sabiriyah 油田 UpperBurgan 层), 因此证明存在更多的合并通道, 通过与三维地震、RFT/PBU 压力数据和产水历史数据的整合, 进一步验证了更好的连通性。

2016年开始科威特北部大量部署排井钻机, 每个平台施工 5~8 口井, 平均每钻 3 口生产井, 部署 1 口注水井, 以此来维持地层压力, 确保了长周期开采。

6. 结论

(1) 通过井身结构优化设计、破岩工具优选、主动预防井下故障集成可以实现安全快速钻完井, 特别是 2016年开始动迁排井钻机, 大幅缩短搬迁时间, 缩短了建井周期;

(2) 基于地震反演特征及常规压力点测试测井数据, 结合钻井大数据实时传输对比, 厘清重点区域产能规模投产;

(3) 通过近年排井模型中开发井与注水井井筒安全间距及采收率对比, 结合精准定向轨迹中靶水平井目的层, 提出有利于科威特北部 RA 与 SA 区块增产的高效钻井模型。

7. 建议

(1) 进一步深挖油藏剖面及注水后续影响, 持续强化研究钻井提速理论; 迭代升级完井技术, 进一步提高有效改造油藏面积; 完善井筒流体运移机理, 探索最大 Pad-well 可钻井数量极限。(2) 从井身结构设计到定向工具使用, 从注水规模设计到完井理论过程优化, 实现提高采收率和降本双赢目标。

参考文献

- [1] Cross, N., Goodall, I., Hollis, C., Burchette, T., Al-Ajmi, H.Z.D., Johnson, I.G., *et al.* (2010) Reservoir Description of a Mid-Cretaceous Siliciclastic-Carbonate Ramp Reservoir: Maaddud Formation in the Raudhatain and Sabiriyah Fields, North Kuwait. *GeoArabia*, **15**, 17-50. <https://doi.org/10.2113/geoarabia150217>
- [2] 王一帆, 白国平. 中阿拉伯盆地油气分布规律和主控因素研究[J]. 沉积与特提斯地质, 2014, 34(2): 104-112.
- [3] 张金成, 孙连忠, 王甲昌, 等. “井工厂”技术在我国非常规油气开发中的应用[J]. 石油钻探技术, 2014, 42(1): 20-25.
- [4] 邱春阳, 秦涛, 王宝田, 等. 准噶尔盆地中部4区块侏罗系井壁稳定钻井液技术[J]. 钻采工艺, 2015, 38(5): 77-80.
- [5] 刘向君, 丁乙, 罗平亚, 等. 钻井卸载对泥页岩地层井壁稳定性的影响[J]. 石油钻探技术, 2018, 46(1): 10-16.
- [6] 周顺林, 尹帅, 王凤琴, 等. 应力对泥页岩储层脆性影响的试验分析及应用[J]. 石油钻探技术, 2017, 45(3): 113-120.
- [7] Heffer, K., Greenhough, J., Main, I., Zhang, X., Mohamad Hussein, A., Nasreldin, G., *et al.* (2010) Low-Cost Monitoring of Inter-Well Reservoir Communication Paths through Correlations in Well Rate Fluctuations: Case Studies from Mature Fields in the North Sea. *Proceedings of SPE EUROPEC/EAGE Annual Conference and Exhibition*, Barcelona, 14-17 June 2010, SPE-130734-MS. <https://doi.org/10.2523/130734-ms>
- [8] Koutsabeloulis, N.C. and Hope, S.A. (1998) “Coupled” Stress/Fluid/Thermal Multi-Phase Reservoir Simulation Studies Incorporating Rock Mechanics. *SPE/ISRM Rock Mechanics in Petroleum Engineering*, Trondheim, 8-10 July 1998, SPE-47393-MS. <https://doi.org/10.2118/47393-ms>
- [9] Milton, D.I. and Davies, C.C.S. (1965) Exploration and Development of the Raudhatain Field. *Journal of the Institute of Petroleum*, **51**, 17-28.

- [10] 贾虎, 邓力琛. 基于流线聚类人工智能方法的水驱油藏流场识别[J]. 石油勘探与开发, 2018, 45(2): 312-319.
- [11] 侯春华. 基于长短期记忆神经网络的油田新井产油量预测方法[J]. 油气地质与采收率, 2019, 26(3): 105-110.
- [12] 蹇宇澄, 刘昭策. 深度学习的实现与发展从神经网络到机器学习[J]. 电子技术与软件工程, 2017(11): 30-31.
- [13] 刘伟, 闫娜. 人工智能在石油工程领域应用及影响[J]. 石油科技论坛, 2018, 37(4): 32-40.
- [14] 闵超, 代博仁, 张馨慧, 等. 机器学习在油气行业中的应用进展综述[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2020, 42(6): 1-15.
- [15] 黄艳, 马辉运, 蔡道钢, 等. 国外采气工程技术现状及发展趋势[J]. 钻采工艺, 2008, 31(6): 52-55.
- [16] 李燕, 胡志强, 薛玉志, 等. 基于日费制管理模式的彬 4 井钻井关键技术[J]. 石油钻探技术, 2022, 50(3): 34-38.
- [17] 路保平. 中国石化石油工程技术新进展与发展建议[J]. 石油钻探技术, 2021, 49(1): 1-10.
- [18] 尹慧博, 索忠伟, 李博东, 等. 沙特 HWY 区块 HWY-116 井提速技术[J]. 石油钻探技术, 2020, 48(5): 34-38.
- [19] 刘书斌, 倪红坚, 张恒. 轴扭复合冲击工具的研制与应用[J]. 石油钻探技术, 2020, 48(5): 69-76.
- [20] 杨进. 深水油气井表层导管下入深度计算方法[J]. 石油学报, 2019, 40(11): 1396-1406.
- [21] 王兴文, 缪尉杰, 何新星, 等. 川南威荣气田深层页岩气工程技术进展[J]. 石油实验地质, 2023, 45(6): 1170-1177.
- [22] 何立成, 唐波. 准噶尔盆地超深井钻井技术现状与发展建议[J]. 石油钻探技术, 2022, 50(5): 1-8.
- [23] 崔瑞康, 孙建孟, 刘行军, 等. 低阻页岩电阻率主控因素研究[J]. 物探与化探, 2022, 46(1): 150-159.