

沙特 B 区块高温高压深气井配套钻井技术

秦 疆¹ 杨顺辉² 宋战培¹ 张 果¹

(1. 中国石化 国际石油勘探开发有限公司,北京 100083;2. 中国石化 石油工程技术研究院,北京 100101)

摘 要:沙特 B 区块自然条件恶劣,地质环境复杂,属于具有多套压力系统的高温高压深层凝析气藏,地层最高温度 176 ℃,地层压力系数 1.88,部分井段含有 H₂S,钻井施工难度极大。针对该区块上部地层存在多套漏失层、中部地层存在高低压夹层、下部为高压气层的地层特性,分析了钻井过程中可能遇到的井下故障,包括上部地层严重漏失、卡钻,中下部地层机械钻速慢、储层保护困难等难题,给出了相应的技术措施,包括井身结构优化、钻头评价与优选、复合钻进、加强防漏堵漏、应用 MPD 钻井技术等。在 MKSR-0002 井的应用结果表明,该配套钻井技术基本解决了该区块的一系列钻井难题,大大提高了机械钻速,缩短了钻井周期,有效保护了油气层。

关键词:高温地层; 高压; 深井; 凝析油气田; 漏失层; 控压钻井; MKSR-0002 井; 沙特 B 区块

中图分类号:TE245 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0890(2010)05-0051-05

Block B of Saudi Arabia HPHT Gas Well Drilling Technology

Qin Jiang¹ Yang Shunhui² Song Zhanpei¹ Zhang Guo¹

(1. Sinopec International Petroleum Exploration and Production Corporation, Beijing, 100083, China; 2. Sinopec Research Institute of Petroleum Engineering, Beijing, 100101, China)

Abstract: Block B of Saudi Arabia has harsh natural conditions, and complicated geological conditions. It is a HPHT deep condensate reservoir with multiple pressure system, with formation temperature up to 176 ℃ and pressure gradient of 1.88. Part of the well section contains H₂S. Drilling operation is extremely difficult. This paper first introduced the formation lithology and well structure design. The possible encountered complex conditions during drilling were analyzed, including lost circulation and pipe sticking in the upper section, low penetration rate at lower section and difficulties in formation protection. A suite of technical measures were provided, including well structure optimization, drilling bit evaluation and selection, compound drilling, drilling in high lost circulation formations, MPD drilling etc. Application result indicates that these techniques solved a series of drilling difficulties, improved ROP, reduced drilling cycle and protected the formation.

Key words: high temperature formation; high pressure; deep well; condensate field; thief zone; managed pressure drilling; Well MKSR-0002; Saudi B Block

沙特 B 区块是中国石化国际石油勘探开发有限公司(SIPC)在海外的一个重点探区,由 SSG(Sino Saudi Gas Limited)公司^[1-2]负责经营勘探。该区块位于沙特鲁卜哈利盆地,自然条件恶劣,地质条件复杂,主要目的层为奥陶系 Sarah、Saq 组及石炭系 Unayzah 组地层,次要地层为志留系中 Qusaiba 组砂岩地层及上二叠系 Khuff 组地层。该区块具有多套地层压力系统,井身结构复杂,最多有 8 层套管,上部地层存在严重的漏失和垮塌掉块现象,下部

为高温高压凝析气藏,地层最高温度 176 ℃,地层压力系数 1.88,部分井段含有 H₂S,在钻井过程中

收稿日期:2010-05-24;**改回日期:**2010-08-27

基金项目:国家科技重大专项“中东中亚富油气区复杂地层钻井技术”(编号:2008ZX05031-004)部分研究内容

作者简介:秦疆(1968—),男,新疆阿克苏人,1989 年毕业于石油大学(华东)钻井工程专业,高级工程师,目前主要从事海外勘探项目的钻井管理工作。

联系方式:qinjing1968@sina.com

存在易漏、易塌、易卡和易喷等风险,钻井难度极大。为此,SIPC开展了配套钻井技术研究,并在MKS R-0002井钻井中进行了试验应用,收到良好的效果,提高了钻井效率、减少了井下故障、缩短了钻井周期。

1 地层岩性和工程设计

沙特B区块地层由上到下依次为第三系(Dammam、Rus和UER组)、白垩系(Aruma、Wasia、Shuaiba、Biyadh、Buwaib和Sulayy组)、侏罗系(Hith、Arab、Jubaila、Hanifa、Tuwaiq Mountain、Dhurma和Marrat组)、三叠系(Minjur、Jilh和Sudair组)、二叠系(Khuff组)、石炭系(Unayzah组)、志留系(Sharawra和Qusaiba组)和奥陶系(Baq'a、Sarah和Qasim组)。地层岩性主要为砂岩、页岩、泥质粉砂岩夹页岩、白云岩和硬石膏等。Khuff组以上地层以海相沉积为主,Khuff组以下地层以陆相沉积为主。

沙特B区块上部地层存在多套漏失地层,中部地层又有高低压夹层,下部为高压气层,因此,在井身结构设计时采用自上而下的设计方法,充分发挥每层技术套管的作用,同时考虑各种井下故障,对套管程序进行适当的预留,确保能安全钻达目的层,提高钻探成功率。经过综合研究,设计采用八段制井身结构,其钻头程序为:($\phi 711.2$ mm 钻头+ $\phi 1\ 066.8$ mm 扩眼器)+($\phi 711.2$ mm 钻头+ $\phi 863.6$ mm 扩眼器)+ $\phi 711.2$ mm 钻头+ $\phi 588.8$ mm 钻头+ $\phi 406.4$ mm 钻头+ $\phi 304.8$ mm 钻头+ $\phi 212.7$ mm 钻头+ $\phi 149.2$ mm 钻头;套管程序为: $\phi 914.4$ mm 导管+ $\phi 762.0$ mm 技术套管+ $\phi 609.6$ mm 技术套管+ $\phi 473.1$ mm 技术套管+ $\phi 339.7$ mm 技术套管+ $\phi 244.5$ mm 技术套管+ $\phi 177.8$ mm 油层套管+ $\phi 114.3$ mm 油层套管(或裸眼)。

技术套管段采用“专打专封”以降低作业难度,提高作业效率,确保作业安全。 $\phi 244.5$ mm 技术套管下至khuff组地层底部,封隔khuff组高压水层和次要储层,为打开主力储层创造了良好的井眼条件。用 $\phi 212.7$ mm 钻头打开储层,如果井眼条件允许,直接用该尺寸钻头完钻,用 $\phi 177.8$ mm 油层套管完井,为测试提供更大的井眼空间;如果不能直接完钻则下入 $\phi 177.8$ mm 套管后用 $\phi 149.2$ mm 钻头钻至完钻井深,采用裸眼完井或 $\phi 114.3$ mm 油层套管完井。

2 主要钻井技术难点及对策

2.1 主要技术难点

2.1.1 上部地层漏失严重^[2]

漏失主要发生在第三系Dammam、Rus和UER组,及白垩系Aruma和Biyadh组地层,漏失最严重的是第三系UER组地层。主要原因是地层疏松,漏失量相对较大,在第三系漏失最为严重,甚至失返。主要是灰岩漏失,白垩系漏失相对较小。

2.1.2 上部地层易发生卡钻^[2]

在第四系和白垩系Wasia组以上井段出现多次卡钻事故,导致卡钻的原因主要是沙特B区块上部地层的砂岩胶结差,松软且极不稳定,因而一旦钻入灰岩的完全漏失层,液面下降,立即引发上部砂岩的垮塌,从而引起卡钻。同时,由于该井段钻进中岩屑没有及时带出和除净,容易造成井漏后岩屑下沉,形成砂桥,导致卡钻。

2.1.3 坍塌掉块现象严重

坍塌掉块主要出现在该区块三叠系和二叠系地层。在钻至三叠系Sudair组地层后井眼坍塌掉块严重,岩屑返出量比正常多50%,岩性主要为红褐色页岩并伴有少量的粉砂岩和硬石膏。二叠系Khuff组地层有中等程度的坍塌掉块发生,岩屑返出量比正常多30%,岩性主要为白云岩并夹有石灰岩、页岩和硬石膏。坍塌掉块问题,严重影响着钻井安全和钻井速度。

2.1.4 部分井段存在水侵、气侵

地层水存在于第三系UER组、白垩系Wasia组和侏罗系Jubaila组等地层,二叠系Khuff组存在高压水层。白垩系Biyadh组、Wasia组地层都有H₂S显示,存在一定的井控风险。

2.1.5 中下部地层机械钻速低

由于该地区中下部地层硬度大,可钻性差,导致沙特B区块钻井速度较低。据初步统计,4 500 m以浅地层平均机械钻速为2.5~3.0 m/h,4 500 m以深地层平均机械钻速约为1.0 m/h。

2.1.6 储层保护难度大

该地区储层属于高温高压低渗储层,储层渗透率大部分在 $(0.01\sim0.40)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ 之间,由于水基钻井液的滤失不可避免,因此对钻井液在高温高压下的滤失控制极具挑战性。

2.2 主要技术措施

2.2.1 优化井身结构

通过对地质情况和井下复杂情况的综合分析研究,及对相关地震、测井资料进行处理,得到了该地区三压力剖面(地层孔隙压力、坍塌压力和破裂压力),对该地区的井身结构进行了优化,减少了 1~2 个开次、少下 1~2 层套管,以提高钻井速度。

2.2.2 钻头评价与优选技术

钻头的合理选择与应用是提高机械钻速、缩短建井周期的有效途径,在该地区主要利用测井资料处理技术,对邻井的测井资料进行处理,得到地层力学特性参数和岩石可钻性参数,同时用取得的岩心进行室内力学试验和可钻性试验,依据室内试验结果对测井资料处理模型进行验证和微调,使其符合沙特 B 区块自身的地质特点。另外,加强与 Baker Hughes、Smith、Best 和 Reed 等国外知名公司的合作,及时将最新的钻头应用到现场,有效提高了机械钻速。其中 Smith 公司的 MS816 钻头在 $\phi 212.7\text{ mm}$ 井段单只钻头进尺 241 m,机械钻速 1.73 m/h,是牙轮钻头机械钻速的 1.5 倍。

同时为了防止在上部地层,特别是 $\phi 1\,066.8\text{ mm}$ 井眼到 $\phi 588.8\text{ mm}$ 井眼钻进过程中钻头泥包,优选了带中心喷嘴的钻头,如 $\phi 863.6\text{ mm}$ 的 MS-DGHC 钻头带有 6 个外部喷嘴和 1 个中心喷嘴,它能提供最佳的井底清洗效果和最大限度地防止泥包,扩眼器也带有同样的 6 个喷嘴。带有中心喷嘴的 $\phi 588.8\text{ mm}$ GTX-C11H 钻头同样具有很好的防泥包效果,为了更好地起到防泥包的作用,选择了小喷嘴,这样就能得到更大的钻头压降,清洗效果更好。

2.2.3 复合钻进技术

在沙特 B 区块深气井钻井中试验应用了复合钻井技术,主要应用了北京石油机械厂和 Baker Hughes 公司的螺杆以及 Smith 公司的涡轮+PDC 钻头进行复合钻进,均取得了明显的提速效果。所

用螺杆的性能参数见表 1。

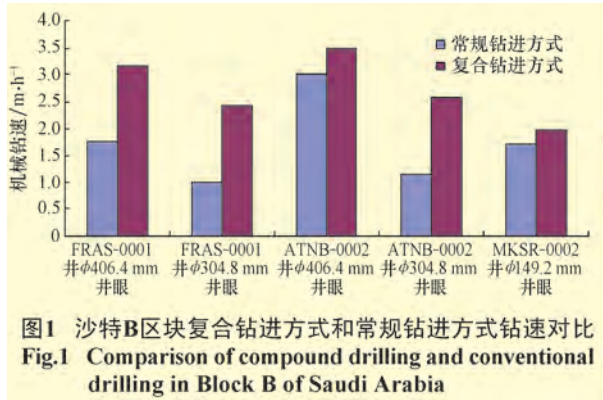
表 1 螺杆性能参数			
Table 1 Mud motor performance parameters			
参数	北京石油机械厂	Baker Hughes 公司	
		Ultra XL	X-treme
尺寸(外径)/mm	244.5	244.1	244.1
流速/L·s ⁻¹	50.7~75.7	33.0~73.0	33.0~73.0
马达压降/MPa	2.5	6.0(工作时) 9.6(最大)	8.0(工作时) 10.0(最大)
额定扭矩/N·m	9 300	14 515	22 171
最大扭矩/N·m	16 275	22 300	23 360
推荐钻压/kN	210	270	270
最大钻压/kN	400	410	410
功率/kW	87.7~136.3	252.0	428.0
转速/r·min ⁻¹	90~140	85~165	80~185
长度/m	7.8	10.8	8.9
质量/kg	2 270	2 699	2 699

FRAS-0001 井在 $\phi 406.4\text{ mm}$ 井段钻进过程中,“PDC 钻头+螺杆”复合钻进的机械钻速是 3.16 m/h,牙轮钻头的机械钻速是 1.74 m/h,提高了 82%;在 $\phi 304.8\text{ mm}$ 井段,“PDC 钻头+螺杆”复合钻进的机械钻速是 2.41 m/h,牙轮钻头的机械钻速是 1.0 m/h,提高了 141%;ATNB-0002 井在 $\phi 406.4\text{ mm}$ 井段钻进过程中,“PDC 钻头+螺杆”复合钻进的机械钻速是 3.50 m/h,牙轮钻头的机械钻速是 3.01 m/h,提高了 16%;在 $\phi 304.8\text{ mm}$ 井段,“PDC 钻头+螺杆”复合钻进的机械钻速是 2.58 m/h,牙轮钻头的机械钻速是 1.15 m/h,提高了 124%。实钻表明,Baker Hughes 公司的 Ultra XL 和 X-treme 螺杆,相对于常规的螺杆,它能够提供更大扭矩,允许加更高的钻压,机械钻速较高,而且螺杆的寿命可以达到 146 h;北京石油机械厂螺杆的机械钻速与 Baker Hughes 公司螺杆的机械钻速相当,但工作时间只有 59.5 h,而且抗温能力较差。

为了提高 $\phi 149.2\text{ mm}$ 井段的机械钻速,在 MKSR-0002 井使用了 Smith 公司的“涡轮+PDC 钻头”的钻进方式,进尺 185 m,平均机械钻速 1.96 m/h,相比于未使用涡轮的 PDC 钻头的平均机械钻速(1.70 m/h),提高了 15.3%。复合钻进方式和常规钻进方式机械钻速对比见图 1。

2.2.4 加强防漏堵漏

1) 渗透性漏失 如果地层发生渗透或微裂缝漏失(渗透性),可选用碳酸钙和纤维材料进行封堵,



碳酸钙和纤维材料可以以大约 5~10 袋/h 的速度加入到钻井液中。由于固控设备可能清除很大一部分堵漏材料,因此需要不断加入堵漏材料。

2) 中等渗透性漏失 地层漏失变大的严重情况下,需要增大碳酸钙、云母、MIX-II 的加量。在循环/钻进过程中,不同尺寸和形状的堵漏材料的加入速度可提高到 10~20 袋/h。

3) 中等到严重渗透性漏失 如果地层漏失继续加剧而使钻井施工无法继续,需要采取一些积极的补救措施,有时需要起出钻具组合,下光钻杆到安全地层,泵入 8~16 m³ 密度为 114~171 kg/m³ 的堵漏钻井液,要保证其中云母、核桃壳、MIX-II、碳酸钙和 Kwik Seal(小麦纤维)的密度分别达到 17.1~28.5、19.9~28.5、19.9~28.5、57.0~85.5 和 19.9~28.5 kg/m³。

4) 完全漏失 如果发生完全漏失,减小钻井液密度和当量循环密度,若因井眼稳定需要无法减小钻井液密度和当量循环密度,可根据需要采用不同的方法堵漏,如加入高滤失材料(Form-A-Squeeze)、交联法、水泥塞或形成软塞(soft plug)法进行堵漏。

如果无法堵漏,则采用清水盲钻的方法钻穿漏失地层,然后下套管封隔漏失地层。该方法每钻进一个单根泵入 8~10 m³ 高黏携砂液,采用清水钻进而且井口失返的情况下,高黏携砂液的携砂能力非常重要,同时泵入速度也是平衡地层和清洁井眼的关键。

2.2.5 应用 MPD 技术

为了提高探井的发现率以及钻井过程中的油气层保护,试验应用了 MPD 技术。采用的 MPD 系统主要包括:1)井口旋转防喷器系统;2)井下开关阀(downhole deployment valve, DDV);3)节流管汇;4)数据分析和处理系统。

井口旋转防喷器系统可以实现井口带压情况下的起下钻和钻进作业;DDV 可以实现井下开关井;节流管汇可以实现井口压力的动态控制,随时调整井下压力;数据分析和处理系统对各种数据可以随时进行监测和处理。通过这四个系统的协同工作共同实现 MPD 钻进。

3 配套钻井技术在 MKSR-0002 井的应用

MKSR-0002 井完钻井深 5 217.3 m,在该井的设计和实钻过程中采用了井身结构优化、钻头优选、复合钻进和 MPD 钻井等配套钻井技术,在提高钻井效率、减少井下故障、缩短钻井周期等方面均取得了明显效果,生产时效提高了 7.68%,非生产时效降低了 86.2%,钻井周期比设计提前 58 d。

3.1 优化井身结构,解决井下复杂情况

MKSR-0002 井在增加套管下深、有效封隔复杂层的前提下,将井身结构减少了 1 个开次、设计为七段制井身结构,将二开井段的井眼直径设计为 863.6 mm,而套管尺寸设计为 φ609.6 mm,实钻中该层套管下入安全顺利、一次到位,为下步 φ558.8 mm 井眼在完全漏失、严重垮塌情况下的安全钻井、并成功下入 φ473.1 mm 套管奠定了坚实的基础。实现了“优化套管程序,增大环空间隙,确保大尺寸套管能够下到位、复杂层段能够封得住”的设计目标,也为安全快速钻井提供了条件。

3.2 优选钻头

PDC 钻头的成功使用,加快了 MKSR-0002 井的钻井速度,与牙轮钻头相比,提高了 2 倍左右。该井 φ406.4 mm 井段应用 MGS18VC 型 PDC 钻头钻进,进尺 540.7 m,机械钻速 8.88 m/h。φ304.8 mm 井段应用 HC506ZX 型 PDC 钻头钻进,进尺 314.2 m,机械钻速 5.02 m/h。

3.3 复合钻进技术

Baker Hughes 公司的 Ultra 或者 X-treme 螺杆,相对于常规螺杆,能够提供更大的扭矩,允许施加更高的钻压,从而有效提高机械钻速,而且螺杆的平均寿命达到 139 h。“PDC 钻头+螺杆”复合钻进技术的成功应用极大地提高了下部研磨性极强地层的机械钻速。与常规钻井方式相比,MKSR-0002

井 $\phi 212.7$ mm 井眼的机械钻速提高了 36.12%。

3.4 应用 MPD 技术

为了提高探井的发现率及在钻井过程中保护油气层,MKSR-0002 井在下部(Sara 组) $\phi 212.7$ mm 井段(4 966.11~5 217.30 m)钻进过程中应用了 MPD 技术^[3-5],使用了密度为 1.20 kg/L 的 FORMAT 钻井液,极大地保护了油气层,该技术的设备和服务主要由 Weatherford 公司提供,它主要有以下优点:

1) 能够通过井口旋转防喷器系统方便地调整井底压力。相对于调整钻井液密度来控制井底压力的方法,MPD 系统对井底压力的控制更加迅速、平稳。

2) 能够在钻井过程中进行储层评价。由于井底压力低于地层孔隙压力,储层中的流体和气体可以在钻井过程中流至地面,有利于及时发现油气层。

3) 能够有效避免钻井液漏失和储层伤害。由于井底压力低于储层孔隙压力,因此在钻进过程中能够最大限度地防止钻井液漏失,同时降低储层伤害。

4) 能够提供安全、有效的井控手段。由于高压气井在钻井过程中存在许多未知因素,MPD 系统可以在井口带压的情况下进行钻进和起下钻作业,为高压气井的井控提供进一步的保障。

4 结束语

目前,SIPC 已逐渐形成了一套适合于沙特 B 区块深气井的配套钻井技术。该区块已完成三轮布井,钻井周期由第一轮的 289 d 缩减到第二轮的 263 d 以及第三轮的 172 d,极大地加快了勘探开发进

度,降低了作业成本。同时,通过应用 MPD 技术有效保护了油气层。该配套钻井技术的研究和应用,不但解决了沙特 B 区块地层漏失、卡钻、坍塌掉块及机械钻速低、储层保护难度大等钻井施工技术难题,还对类似区块的钻井施工具有借鉴作用。

参 考 文 献

- [1] 秦疆,肖超. 沙特 B 区块致密砂岩气层保护技术研究[J]. 钻采工艺,2010,33(1):82-85.
Qin Jiang,Xiao Chao. Protection technology of tight gas reservoir in Saudi Arabia Blocks B[J]. Drilling & Production Technology,2010,33(1):82-85.
- [2] 肖超. 沙特 B 区块复杂地层钻井液技术[J]. 钻井液与完井液,2009,26(1):63-66.
Xiao Chao. Drilling fluid technology for troublesome formation drilling in Block B in Saudi Arabia[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid,2009,26(1):63-66.
- [3] 王果,樊洪海,刘刚,等. 控制压力钻井技术应用研究[J]. 石油钻探技术,2009,37(1):34-38.
Wang Guo,Fan Honghai,Liu Gang,et al. Application of managed pressure drilling techniques[J]. Petroleum Drilling Techniques,2009,37(1):34-38.
- [4] 郑锋辉,韩来聚,杨利,等. 国内外新兴钻井技术发展现状[J]. 石油钻探技术,2008,36(4):5-11.
Zheng Fenghui,Han Laiju,Yang Li,et al. Development of novel drilling technology [J]. Petroleum Drilling Techniques,2008,36(4):5-11.
- [5] 周英操,崔猛,查永进. 控压钻井技术与展望[J]. 石油钻探技术,2008,36(4):1-4.
Zhou Yingcao,Cui Meng,Zha Yongjin. Discussion and prospect of managed pressure drilling technology[J]. Petroleum Drilling Techniques,2008,36(4):1-4.

2010 年《石油钻探技术》编委座谈会在京胜利召开

2010 年 8 月 21 日,石油工程技术研究院在北京组织召开了《石油钻探技术》编委座谈会。参加会议的有本刊顾问、编委、特约专家及编辑部人员等 27 人。会议由《石油钻探技术》主编、工程院副院长马开华主持,编委会副主任、工程院党委书记刘汝山,编委会副主任、工程院副院长曾义金出席会议,并分别作了重要讲话。

常务副主编陈会年同志做了题为《打造精品期刊 推动石油工程技术进步》的工作报告,回顾了第七届编委会成立以来期刊工作开展情况和取得的成绩,分析了当前期刊发展亟待解决的问题,提出了编辑部下一步工作计划,以及 2011 年重点报道计划。与会代表围绕“如何办好《石油钻探技术》,提高办刊质量和期刊影响力、知名度,更好地促进石油工程技术发展”的主题进行了热烈讨论,十分中肯地提出了许多意见和建议。

这次会议是 2008 年第七届编委会成立之后,《石油钻探技术》召开的第一次编委座谈会,也是期刊主办单位变更为中国石化石油工程技术研究院、期刊迎来新的发展机遇之时召开的一次工作会议。因此,这是一次及时的会议,对期刊的发展具有里程碑式的意义,必将使期刊的发展迈上新的台阶,真正实现将《石油钻探技术》办成国内一流、国际知名,直至国际一流的学术期刊。