

也门钻井技术难点与对策

崔卫华 王长生 王志刚

(中国石化国际石油勘探开发有限公司,北京 100083)

摘要:也门1区块、69区块、71区块,由于其地质结构复杂、压力梯度变化大,常因井漏严重、井眼失稳、地层坚硬、可钻性差等原因,造成施工中出现各种复杂情况和卡钻事故,给钻井工作带来了一系列技术难题。通过分析上述三区块的地层岩性和主要技术难点,针对性地提出了浅部钻井时采用气体泡沫钻井工艺、使用胶质堵漏水泥浆或常规水泥加纤维进行堵漏、高角度长井段裂缝性漏失井段采取边钻边漏边堵的方法、钻井液中加入封堵材料以减少掉块、提高钻井液密度的同时提高钻井液封堵性能、大井眼钻进井段采用空气锤钻井技术等技术措施。现场应用效果表明,该技术措施基本解决了也门3个区块的钻井技术难题,提高了机械钻速,节省了大量的事故处理时间,缩短了建井周期。

关键词:井漏;卡钻;井眼稳定;机械钻速;气体钻井;也门1区块;也门69区块;也门71区块

中图分类号:TE249 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0890(2010)05-0037-05

Yemen Drilling Technical Difficulties and Countermeasures

Cui Weihua Wang Changsheng Wang Zhigang

(Sinopec International Petroleum Exploration and Production Corporation, Beijing, 100083, China)

Abstract: Unexpected accidents and pipe sticking happened frequently in Yemen Block 1, Block 69, and Block 71 due to complex geological structure and pressure gradient changes, serious loss circulation, wellbore instability, hard formation, and low drillability. All these brought a series of technical difficulties. By analyzing the lithology of the three blocks and the main technical difficulties, this paper puts forward several drilling measures, including gas foam drilling fluid for shallow layer; colloid cement sealing or regular cement with fiber for lost circulation, plugging while drilling for fractured lost circulation in long section with high-angle, adding drilling fluid sealing material to prevent collapse, increasing drilling fluid density and improving sealing properties to prevent collapse, using air hammer drilling technique in larger diameter section. The field applications show that these techniques can solve the technique difficulties, increase ROP, save a lot of accident processing time, and reduce well drilling cycle.

Key words: lost circulation; sticking; hole stabilization; penetration rate; gas drilling; Block 1 in Yemen; Block 69 in Yemen; Block 71 in Yemen

1 概述

也门1区块、69区块和71区块是中国石化国际石油勘探开发有限公司(SIPC)在也门境内拥有的3个勘探区块,位于也门中部两个富含油气盆地内,勘探面积分别为2 189、1 324和1 801 km²。

收稿日期:2010-06-17;改回日期:2010-09-01

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

作者简介:崔卫华(1976—),男,江苏东台人,1999年毕业于江汉石油学院石油工程专业,工程师,作业部经理,主要从事国外石油勘探及钻井生产管理方面的工作。

联系方式:(010)82310862,wheui@sipc.cn

也门 1 区块位于也门中部马里卜-夏布瓦盆地的东南边缘,区块内地表条件复杂,总体表现为洼地、台地相间的地貌特征。该区块北部地势总体较高,最高海拔超过 1 700 m。地形高差较大,约在几十米至 400 m 之间,最大地形高差近 600 m。在台地和台地之间形成洼地,由于雨季洪水泛滥,洼地内形成鹅卵石堆积。

也门 69 区块位于也门中部马里卜-夏布瓦盆地的中部,整个区块地表被沙化,地面平坦。

也门 71 区块位于也门中部富含油气的塞云-马西拉盆地西北部,地貌属沟壑纵横的高原,一条深切的干涸河道呈北东-南西向延伸穿过 71 区块,河谷与周围台地高差近 300 m,沟中分布有城镇、村庄、农田和椰枣林,山顶多是由风化灰岩碎石形成的戈壁。地表以第三系的灰岩和泥岩为主,大部分地表高程为 700~1 000 m。

通过 4 年多的工作,也门 69、71 区块已经完成了第一勘探期所规定的义务工作量和义务投资,目前处于第一勘探期延期;也门 1 区块已进入第二勘探期,按生产分成协议(PSA)的要求,退出原勘探面积 25% 后,目前区块面积为 1 637.61 km²。SIPC 在也门 3 个勘探区块共钻探 7 口井,进尺约 2.5 × 10⁴ m,其中也门 71 区块获得了较好的油气流,也门 1 区块也有较好的油气发现。

也门各区块地质结构比较复杂、压力梯度变化大,部分地层井漏严重,井壁不稳定,造成施工中常出现井下复杂情况或卡钻事故;另外,各区块地层可钻性差、钻速慢,钻井周期长。为了在今后的钻井工作中减少或规避这些井下复杂情况和事故的发生,笔者对也门 1 区块、69 区块、71 区块钻井的技术难点进行了分析归纳,结合部分案例提出了相应的对策。

2 地层岩性

也门 1、69、71 区块的地层上下分组基本一致,岩性基本相同。由于海拔的差异,上部地层不尽相同;由于各区块之间距离较远,其地层厚度的差异也较大。

也门 3 个区块基本的地层顺序和岩性描述为:上部为第三系 Umm 组灰岩,白垩系 Mukalla 组砂岩层、Harshiyat 组砂泥岩和 Qishn 组灰岩浅海河流相地层,其中也门 69 区块由于在沙漠中,缺失 Umm 组地层;中部为海相的 Saar 组泥灰岩层,Nayfa 组泥岩层,Sabatayn 组盐岩层,Madbi(Lam, Meem)组泥灰岩层;下部为前寒武系 Shuqra 组灰岩层、Kulan 组砂岩层及 Basement 的花岗岩变质岩层(见表 1)。

表 1 也门 3 个区块地层与岩性描述

Table1 Comparison formation lithology in Yemen

年代	地层	沉积相	岩性描述
第三系 E	乌姆拉杜马组(Umm Er Radhuma)	浅海相	碳酸盐岩沉积,以灰白色隐晶质灰岩为主,夹白云质灰岩
	穆卡拉组(Mukalla)	河流相	以砂岩为主,夹灰色、绿色泥岩
	哈施亚特组(Harshiyat)	河流相	浅灰色砂岩,夹灰色泥岩
	凯森组(Qishn)	河流相	灰色石灰岩分布在上部,灰色砂岩在下部
	萨尔组(Saar)	浅海-滨海相	灰色泥质膏岩灰岩,灰色泥岩,夹褐色石灰岩,粉砂岩在上部,白云岩在顶部
	内法组(Nayfa)	浅海相	灰色泥质膏岩灰岩和含钙泥岩
侏罗系 J	萨巴塔因组(Sabatayn)	泻湖相	循环性的蒸发岩-膏岩、盐岩、页岩、浊流型砂岩、泥质白云岩沉积
	莱姆组(Lam)	浅海相	为灰色、棕色泥岩、软泥岩夹棕褐色石灰岩
	密穆组(Meem)	浅海相	为棕色、浅褐色灰岩、深棕色-黑色碳质灰岩夹黑色、灰色泥岩,灰色石灰岩和泥质膏岩灰石
前寒武系	休库拉组(Shuqra)		为灰色、棕色灰岩和白云岩
	库兰组(Kulan)	浅海相	疏松石英砂岩
	基底(Basement)		石英花岗岩,片岩或片麻岩

3 主要钻井技术难点

3.1 易井漏

井漏是石油钻井作业中常见的井下故障之一,它不仅损失大量的钻井液,耗费钻井时间,延长钻井周期,而且还可能引起井喷、井塌和卡钻等一系列井下事故,甚至导致部分井段或全井段报废^[1],造成重大的经济损失。

井漏在也门各区块是一个共性问题。按照漏失通道形状来分:表层漏失基本属于孔洞、溶洞性漏失;中间井段一般为地层交界不整合面-风化壳漏失,基本属于缝洞性漏失;部分储层发育裂缝,易出现裂缝性漏失。

3.2 井壁不稳定

井壁不稳主要包括钻井过程中井壁坍塌或缩径和地层破裂两种类型。影响井壁稳定的因素主要有地应力、井壁应力分布、地层力学性质、井斜角、方位角、井壁岩石的渗透率及孔隙度、地层倾角及钻井液性能等。

从力学角度来看,造成井壁坍塌的原因主要是静液柱压力较低,使井壁周围岩石所受的应力超过了岩石本身强度而产生剪切破坏^[2]。对于脆性地层会在地层主应力的垂直方向上产生剪切破坏、坍塌掉块、井径扩大,如 Harshiyat 组地层的脆性泥岩、Saar 组的泥页岩、Lam 和 Meem 组地层的泥岩等;对塑性地层来说,则使井眼产生塑性变形或地层蠕动,造成缩径,如 Harshiyat 组地层的泥岩、Sabayatan 组的盐岩。

对于井眼坍塌,一般可以通过一些具体的表象进行分析,如钻屑返出量增加、扭矩增大、起钻中(灌钻井液不及时)遇阻阻力逐渐增大、开泵返出异常、泵压升高且不稳定、悬重下降、下钻井口不返、钻具内倒返、划眼困难等。

在也门所钻的几口井中,初期由于对地层压力的认识不够,再加上地质部门要求严格控制钻井液密度、尽量要求近平衡压力钻井。在钻开 Harshiyat、Saar、Nayfa、Lam 和 Meem 组等地层时钻井液密度相对较低,从而造成泥岩垮塌或掉块,进而导致了卡钻、测井困难和固井复杂等井下故障。

3.3 地层坚硬,可钻性较差

也门 3 个区块所钻遇地层都较坚硬、可钻性较

差,尤其表现在也门 1 区块上部 Umm 组的灰岩及也门所有区块的海相地层和前寒武系的花岗岩地层、变质岩的基底。

4 主要技术措施

4.1 防漏堵漏技术措施

在也门近几年的施工实践中,针对不同类型的漏失情况,分别采取了不同的应对措施,摸索出了一套防漏、堵漏技术措施。

4.1.1 应用气体(泡沫)钻井技术解决表层浅层漏失

也门 1 区块已钻和即将钻探的几口井均处在山顶台地之上,地下潜水面较低,漏失层位置高于潜水面,形成一个敞开的泄露系统,无法承压。

通常井口的海拔在 1 200~1 500 m,地下潜水面在井深 500~700 m 左右。主要漏失层位置在 Umm 组地层(孔洞性裂缝发育灰岩)底部和 Mukalla 组(弱固结的砂岩层)地层上部;另外 Umm 组地层岩性为灰岩,岩石硬度大、研磨性强、可钻性差;且也门 1 区块严重缺水。因此,防漏和堵漏是该区块钻井能否成功的关键。

基于此,也门 1 区块在钻进表层和浅部地层时,采用了气体泡沫钻井工艺,利用较低密度的循环介质来减少和避免易漏井段大量钻井液的漏失,减少了堵漏剂的使用,节约了大量生产用水,缓解了在极度缺水地区的供水压力,同时利用空气锤钻进坚硬的灰岩还可以大大提高机械钻速^[3-5],缩短建井周期。

某国外公司在相邻区块二开后应用气体钻井技术钻进,但未取得应有效果,不得不采用新配钻井液从井深 570 m 盲钻至井深 1 865 m,漏失钻井液约 30 000 m³,仅水费就高达 65 万美元。

因此根据邻区和本区已钻井的经验教训,建议今后该区块表层浅层钻进时可采取以下措施:表层采用空气锤加稳定泡沫钻进 Umm 组地层,下部 Mukalla 组的砂层采用充气钻井或硬胶泡沫钻井;对于砂层的气体钻井参数,要合理选择并根据施工的实际情况及时调整。

4.1.2 使用胶质堵漏水泥浆或常规水泥浆加纤维解决风化壳孔洞型漏失

已钻井资料表明,在 Umm 组与 Mukalla 组、

Mukalla 组与 Harshiyat 组、Qisen 组与 Saar 组和 Shuqra 组与 Basement 组等地层的不整合面易发生漏失,特别是 Harshiyat 组及 Saar 组地层顶部的风化壳漏失严重,表现为失返性漏失。风化壳井段一般不是很长,一般长 5~30 m。

根据也门 1 区块 3 口井的施工经验,这种风化壳漏失可以用触变胶凝水泥浆或加纤维的常规水泥浆封堵。Abyed-1 井在钻进 Harshiyat 组地层顶部的风化壳时发生漏失,前后采用了 8 种方法堵漏,历时 7 d,分析认为是触变胶凝水泥浆堵住了漏层。在 Abyed-2 井相同的层位发生漏失后,仅泵入 2 次触变胶凝水泥浆就成功堵住了漏层。Reema-1 井在钻遇不整合面时,泵入 2 次触变胶凝水泥浆和 4 次加纤维的常规水泥浆,最终堵漏成功。因此,今后也门 1 区块在钻至该风化壳或不整合面时,如遇井漏,建议使用加纤维的触变胶凝水泥浆或加纤维的常规水泥浆堵漏,这样尽管多了堵漏环节,但比充气钻井还是经济。

4.1.3 应用随钻堵漏技术解决长井段裂缝性漏失

对于 Abyed-1 井 2 005~2 579 m 井段 Saar 组和 Nayfa 组地层高角度长井段裂缝性漏失,施工期间采取边漏边钻边堵的办法,一般是在钻井液中加入锯末等堵漏剂进行随钻堵漏,另外漏失量大时泵入预配好的含有粗、中、细粒的桥接堵漏浆,一般均有返出,然后继续钻进;在漏失减小时每钻完一根钻杆泵入 3~5 m³ 堵漏浆。在漏失严重井段,考虑泵入堵漏浆后起钻静止堵漏。

4.2 井壁不稳定的应对措施

4.2.1 优化井身结构,防止井眼垮塌

Abyed-1 井 $\phi 244.5$ mm 井眼钻至井深 2 579 m 时测井,在井深 1 394 m 遇阻,通井多趟,常规测井依旧遇阻,井下垮塌严重,此后只能采用钻杆传输测井,前后历时 11.5 d。由于下部 Sabayan 组地层垮塌也较为严重,套管也未能下到井底。

垮塌和缩径的主要原因是易垮塌井段 1 165~1 778 m(Harshiyat 组)与易漏井段 2 005~2 514 m(Saar、Nayfa 组)及易缩径井段(Sabatayn 组)处于同一尺寸($\phi 244.5$ mm)井眼,不能提高钻井液密度。另外在钻进 Saar 组和 Nayfa 组地层时,因为漏失量巨大(5 500 m³)需不断补充大量的钻井液,不能有效控制钻井液性能(如失水等),也是造成上部井段

泥岩垮塌的原因之一。

建议今后在钻入 Saar 组地层顶部后下入一层技术套管,以封住上部 Harshiyat 组易垮地层,这样可以避免 Saar 组和 Harshiyat 组地层处于同一裸眼井段。

4.2.2 强化钻井液封堵性,控制泥岩段掉块

Abyed-1 井和 Abyed-2 井测井过程中,在 Meem 组地层井段均出现因存在大掉块而导致测井仪器被卡的现象,后虽经处理成功解卡,但是该段的泥岩掉块还是不能忽视。

产生掉块的主要原因应该是泥岩段微裂缝发育,钻井液的封堵能力不强。建议今后在钻进该井段时,在钻井液中加入封堵材料,提高钻井液的封堵造壁性,以减少掉块。

4.2.3 泥岩垮塌导致卡钻后侧钻的实施办法

Rabaa-1 井用 $\phi 244.5$ mmPDC 钻头加直螺杆复合钻进至井深 2 580 m(Lam 组),循环短起至套管鞋后下钻至井深 2 516 m 遇阻,钻具被卡死。经爆炸松扣起出部分落鱼。由于打捞的不确定性,决定填井侧钻。

填井至井深 2 200 m 后下入扫塞钻具组合至井深 1 508 m 遇阻,划眼 43 h,最终在井深 2 203 m 处探到水泥面并钻至侧钻点井深 2 232 m。在划眼期间始终可见 Saar 组地层泥岩掉块,根据井况将钻井液密度由 1.28 kg/L 逐渐提高到 1.45 kg/L,黏度提高至 65 s,滤失降至 3.5 mL。短起下钻仍然不正常,在井深 2 208 m 挂卡,后一直开泵起钻至井深 1 568 m,从井深 1 568 m 倒划眼至套管鞋。

为保证侧钻的顺利进行,再次下入简化钻具组合(甩掉稳定器,去掉钻头水眼)通井。下钻至井深 1 581 m 处遇阻,依然划眼 19 h 才能下至井底,泵入高黏度钻井液,其间振动筛仍有不少泥岩掉块,起钻前再次泵入高黏度钻井液,在 2 201~2 181 m 井段倒划眼后起钻正常,再次短起下钻较正常。

后下侧钻钻具组合顺利到底,进行正常的侧钻作业。处理卡钻到恢复正常钻进时间长达 11 d。

原因分析:因海相地层 Saar 组、Nayfa 组的灰泥岩微裂缝发育,钻开该段地层时钻速较高,但钻井液密度较低,在短起下钻过程中,由于抽汲作用造成 Nayfa 组地层泥岩大量垮塌,埋住稳定器之上的钻具。由于不能循环和转动顶驱,无法进一步处理垮塌卡钻。在后期事故处理中,由于大幅度上下提放

钻具等一系列作业以及 Saar 组地层泥岩在低密度钻井液中长时间浸泡进而加剧了垮塌。尽管后来提高密度并增加钻井液的封堵性能,但井壁已经严重失稳。

建议在也门 71 区块的后续井施工中,钻开 Saar 组及 Nayfa 组地层之前要提高钻井液的密度,同时提高钻井液的封堵性能。

4.3 优快钻井技术措施

也门所有区块的海相地层和前寒武系的基底地层坚硬,可钻性较差,导致钻速较低。而且也门各区块存在易漏、极度缺水的问题,必须开展优快钻井技术研究与应用,以提高机械钻速,从而节省大量的钻井时间,缩短建井周期,降低钻井成本。

对于也门 1 区块表层 Umm 组灰岩地层的大井眼钻进,采用了空气锤钻井技术^[3-5],机械钻速可以提高至 10~20 m/h,与采用常规钻井技术钻进 Umm 组地层的邻井(机械转速在 2 m/h 左右)相比,机械钻速提高了 5~10 倍。

对于 Saar 组、Nayfa 组、Lam 组及 Meem 组的海相灰岩和泥岩地层,可钻性相对较差,但较为均质,可以采用合适的 PDC 钻头加大扭矩直螺杆钻进^[6],以提高机械钻速。Smith 公司的 Mi716 和 Mi816 及 Sheenstone 公司的 PDC 钻头应用效果良好。在该井段,牙轮钻头的平均机械钻速通常为 2.4~3.0 m/h,而 Abyed-2ST 井应用 Smith 公司的 Mi716 型 PDC 钻头,平均机械钻速大于 4 m/h, Hennin-1 井应用 Smith 公司的 Mi716 型 PDC 钻头,平均机械钻速在 6 m/h 左右;Rabaa-1 井 1 755~2 580m 井段,应用了 Sheenstone 公司的 ST638RS 钻头和高扭矩螺杆进行复合钻井,仅用时 75 h,平均钻速高达 11 m/h。

对于 Basement 组基底变质岩、花岗岩,可钻性极差,牙轮钻头机械钻速只能达到 2.0~2.5 m/h。目前采用高速螺杆配合 IADC6XX 牙轮钻头,但该型号钻头使用 20~35 h 后,牙齿便磨损严重而不得不起钻。建议使用寿命长、牙齿抗磨的 IADC627-647 牙轮钻头;另外,也可考虑采用空化射流钻井、应用流动冲击器进行旋冲钻井等,以提高机械钻速。

5 结束语

总结分析近年来在也门各区块的钻井施工情

况,认识到在钻井过程中应在技术和管理两方面做好以下工作:

- 1) 抓好设计审批关,做好设计,为全井施工提供技术保障;
- 2) 根据勘探区块的特点、以往的钻井经验和钻探的地质要求,优化并确定合理的井身结构设计;
- 3) 总结并积极推行空气钻井技术、低密度固井技术等,减少复杂地区井漏等问题的出现;
- 4) 深入研究整个区块内的井壁失稳机理,并寻求对应的钻井配套技术方案,尽量减少井壁失稳的情况发生;
- 5) 加强区块地层的可钻性分析,筛选并优化钻头选型,实施优快钻井;
- 6) 应用先进的钻井技术,包括空气锤钻井技术、旋转导向钻井技术、空化射流技术及液动脉冲冲击钻井技术等,以提高整体的机械钻速,缩短钻井周期。

参 考 文 献

- [1] 蒋希文. 钻井事故与复杂问题[M]. 北京:石油工业出版社, 2001:307-310.
Jiang Xiwen. Drilling accident and difficulty [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001:307-310.
- [2] 徐同台,沙东,王伟,等. 垦海油田 2 区沙河街组地层井壁失稳原因及对策[J]. 石油钻探技术, 2010,38(3):49-53.
Xu Tongtai, Sha Dong, Wang Wei, et al. Reasons of borehole instability in Block 2 of Chenghai Oilfield and its measures[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010,38(3): 49-53.
- [3] 崔卫华,侯绪田,郑清国,等. 气体/泡沫钻井技术在也门砂岩地层的应用[J]. 石油钻探技术, 2009,37(4):107-109.
Cui Weihua, Hou Xutian, Zheng Qingguo, et al. Applications of air & foam drilling in sandstone in Yemen[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009,37(4):107-109.
- [4] 孙起昱,张雨生,王爱芳. 空气锤在普光气田气体钻井中的应用[J]. 石油钻探技术, 2009,37(4):68-72.
Sun Qiyu, Zhang Yusheng, Wang Aifang. Application of air hammer in gas drilling in Puguang Gasfield [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009,37(4):68-72.
- [5] 张克勤. 元坝地区钻井难题分析与技术对策探讨[J]. 石油钻探技术, 2010,38(3):27-31.
Zhang Keqing. Problems arising from drilling operations in Yuanba Area and its solutions[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010,38(3):27-31.
- [6] 蒋祖军,肖国益,李群生. 川西深井提高钻井速度配套技术[J]. 石油钻探技术, 2010,38(4):30-34.
Jiang Zujun, Xiao Guoyi, Li Qunsheng. Technology to increase deep well drilling speed in Western Sichuan [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010,38(4):30-34.