

Analysis on Drilling Troubles and Countermeasures of the 3/7 Block Oilfield in South Sudan

Huiying Zhai

China University of Geosciences, Beijing
Email: zhaihy@cugb.edu.cn

Received: Oct. 31st, 2019; accepted: Nov. 15th, 2019; published: Nov. 22nd, 2019

Abstract

Different oilfields, different stratum and lithologies, there are different drilling troubles occurring during drilling operations. The lithology of the 3/7 oilfield in South Sudan is dominated by claystone and sandstone. During the drilling operation, the formation loss, tight hole and caving of the wellbore are prone to occur. This paper analyzes the formation lithology in this area, and summarizes four kinds of drilling problems such as formation loss, tight hole and collapse, balling up and stuck. Reasonable and effective treatment methods and preventive measures are proposed according to different drilling troubles, including leakage plugging technology while drilling, cement plugging technology, a progressive method from easy to difficult to solve the stuck, and so on. The drilling troubles technical countermeasures proposed in this paper provide an important technical reference for high efficient drilling in other similar blocks, and will help to reduce the non-production time, and lower the drilling cost in the 3/7 area of South Sudan.

Keywords

3/7 Block in South Sudan, Drilling Troubles, Formation Loss, Tight Hole and Caving

南苏丹3/7区油田钻遇复杂及对策分析

翟慧颖

中国地质大学, 北京
Email: zhaihy@cugb.edu.cn

收稿日期: 2019年10月31日; 录用日期: 2019年11月15日; 发布日期: 2019年11月22日

摘要

不同的油田区块、不同的地层和岩性，钻井作业过程中常会出现各种不同的钻井复杂情况。南苏丹3/7区油田地层岩性以泥岩和砂岩为主，钻井作业过程中容易出现地层漏失和井眼缩径垮塌。本文分析了该区地层岩性，总结了钻井过程中发生的地层漏失、缩径与坍塌、钻头泥包和卡钻等四类复杂问题。针对不同类型的钻井复杂，提出了合理有效的处理方法和预防对策，包括随钻堵漏技术、注水泥塞堵漏技术、难易渐进式方法解卡等。本文提出的钻井复杂技术对策将有利于减少南苏丹3/7区钻井的非生产时间，降低钻井成本，也为其他相似区块高效钻井提供了重要的借鉴。

关键词

南苏丹3/7区，钻井复杂，地层漏失，缩径与坍塌

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

钻井作业是油气勘探开发的必要手段和关键环节，其投资比例可达整个油田投资的三分之一。在钻井施工作业中，复杂情况与事故自始至终威胁着钻井的全过程，严重影响油田开发的经济效益。通过文献调研发现，国内外基本每个油田均会钻遇钻井复杂，而处理对策因地质条件、技术水平、经济成本等各种原因又有所不同。通过分析钻井复杂的原因，提前预防或出现后采取合理的处理措施，减少非生产时间。

2. 工区概况

南苏丹3/7区油田位于Melut盆地，该盆地是中非裂谷系的第二大沉积盆地，盆地走向为北西-北西西，长约600 km，宽约150 km，面积 $3.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，沉积厚度大于8000 m，是在中非剪切带右旋走滑活动背景下发育的中-新生代被动裂谷盆地。整个油田位于南苏丹上尼罗河洲，距离首都朱巴约700公里。

目前中石油公司已在南苏丹3/7区油田开发18年左右，是中石油海外合作项目的典范。开发以直井井型为主，同时兼有少量的水平井和定向井。油田主要储层是Yabus和Samma层位，储层埋深在1300~1400米之间，储层物性整体较好，孔隙度在20%~30%之间。已钻井井数已达900多口，但是目前仍有多个圈闭未钻、未勘探，根据现有资料推测，剩余可采储量数量可观，该油田仍具有长期开发的价值和意义。

3. 地层岩性与特征分析

该油田地层岩性以泥岩和砂岩为主，如图1所示。Agor、Daga上部地层成岩性差，地层孔隙压力和破裂压力均低，钻井作业过程中容易出现地层漏失和井壁垮塌。从Daga下部到Adar地层存在大段泥岩，以蒙脱石、伊利石、伊/蒙混层为主，夹杂少量砂岩，水敏性强，极易水化分散、膨胀导致缩径。Yabus地层上部以棕色泥岩为主，有砂岩夹层，已发生井壁坍塌。自Yabus下部地层至Samma地层，岩石发生很大变化，由胶结差的细-粉砂岩、粗砂岩和含砾砂岩组成，并且夹有泥岩。

地 层			岩性	顶深 (m)	岩性描述
系	统	组			
第四系	全新统	Agor		0	松散砂、粗砂岩夹泥岩
	上新统	Daga			泥岩夹粉砂岩
新近系		中新统	Miadol		300-1200
	Jimidi			泥岩夹粉薄层砂岩	
古近系	渐新统	Lau		600-1600	砂泥岩互层，向上逐渐变细
	始新统 + 古新统	Adar			泥岩夹粉薄层粉砂岩
		Yabus			上部泥岩夹砂岩 下部砂岩夹泥岩
		Samma			中粗砂岩夹薄层泥岩

Figure 1. Stratigraphic lithology of the 3/7 block oilfield in South Sudan
图 1. 南苏丹 3/7 区油田地层岩性剖面图

4. 钻遇复杂风险分析

通过详细查看近 100 口井的已钻井资料，发现南苏丹 3/7 区钻遇的主要复杂情况分为 4 类，分别是地层漏失、缩径与坍塌、钻具泥包及卡钻。

4.1. 地层漏失

钻井过程中发生地层漏失，这是一种常见的钻井复杂情况，处理漏失复杂会占用大量的钻井时间，同时造成钻井液的损失，更有可能引起卡钻、井喷、井壁坍塌等其他钻井事故，甚至导致井眼报废，最后造成巨大的经济损失。漏失发生的 3 个必要条件是压差、漏失通道及空间、漏失通道的尺寸大于钻井液中固相的粒径。

查看了南苏丹 3/7 区钻于 2008~2015 年近 100 口已钻井的钻井资料，其中有 16 口井钻遇地层漏失，钻井液总漏失量不少于 9705 bbls, 15 口井的漏失发生在地层上部，只有 1 口井漏失发生在下部地层 Yabus 地层。所以该区块地层漏失主要发生在上部地层，Agor 和 Daga 地层，这 2 个地层多由砂岩、粗砂岩夹薄泥岩组成，胶结差，比较疏松，孔隙度大且连通性好，形成很好的漏失通道，一旦发生漏失，大多是恶性漏失，井口无返出；其他地层如果钻遇较大断距的断层或断层破碎带，也可能发生地层漏失，比如 FJ-27 井在 Yabus 地层钻遇断距约为 10 米的断层，发生了失返性地层漏失，损失了 2516 bbls 钻井液。

4.2. 井眼缩径与坍塌

在南苏丹 3/7 区油田，井眼缩径与坍塌的复杂情况在钻井作业中比较常见。在查看的近 100 口已钻井中，其中 64 口井发生过不同程度的坍塌、缩径，这些复杂可造成起钻过提和下钻遇阻等。单就 2015 年 25 口已钻井中就有 20 口井出现了不同程度的井眼缩径，处理时间大约是 475.85 小时，占非生产时间的 58.5%。如表 1 所示。井眼缩径与坍塌主要发生在中间地层，Miadol、Jimidi、Adar 及 Yabus 上部地层，这些地层主要是泥岩地层，含有大量的粘土矿物，所以该区井眼缩径与坍塌的原因除了力学因素之外，也有化学因素或者兼有二者耦合作用的共同结果。从井径测井曲线可以看出井眼缩径与坍塌的情况和地层位置。从图 2 可看出，Adar 地层中井眼缩径和坍塌同时存在；从图 3 可看出，Miadol、Jimidi 地层在 600~850 米井段井眼坍塌比较严重，在这一井段钻井作业时钻井液循环比较频繁以保持井眼清洁。

同时井眼缩径、坍塌的强度与地层中泥岩含量、井眼浸泡时间长短、钻井液性能、钻井措施等相关。

Table 1. Loss data statistics of the 3/7 block oilfield in South Sudan
表 1. 南苏丹 3/7 区漏失情况统计表

井名	复杂详情	漏失量(bbl)	地层层位
FE-34H	50~136 m: many times total loss	850	Agor
FF-32H	292 m: total/partial loss	629	Agor/Daga
FJ-33H	Surface hole: total/partial loss	1140	Agor/Daga
Fal-8H	80~110 m: total /partial loss	627	Agor
FC-29	50~160 m: total loss	750	Agor
FE-26	70~150 m: loss	130	Agor
FE-32	67~78/260 m; total loss	590	Agor
FJ-27	1190~1381 m: total /partial loss	2516	Yabus
FJ-31	120~166 m: total loss	600	Agor
FF-31	97 m: total loss	600	Agor
FK-9	13~56 m: partial loss	138	Agor
Ma-25	50~80 m: total loss 109 m/175 m/193 m/282 m: loss	566	Agor/Daga
FM-19	Partial loss	126	Agor/Daga/Miadol
Ma-26	71 m: total loss	298	Agor
As-15	272 m: loss	145	Agor/Daga
FK-12	55 m: loss	/	Agor

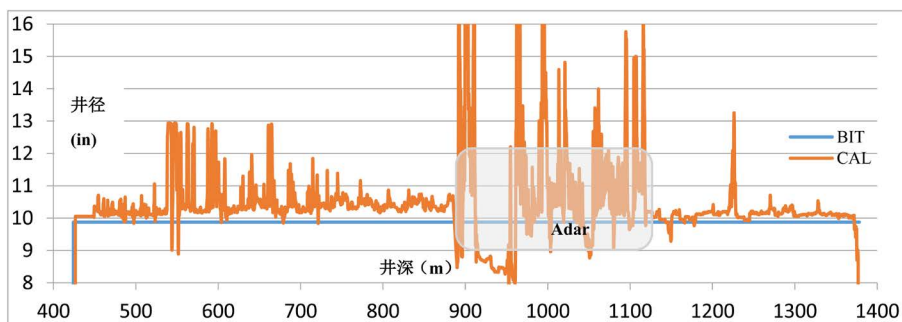


Figure 2. Caliper logging curve of the well FJ-27
图 2. FJ-27 井井径测井曲线图

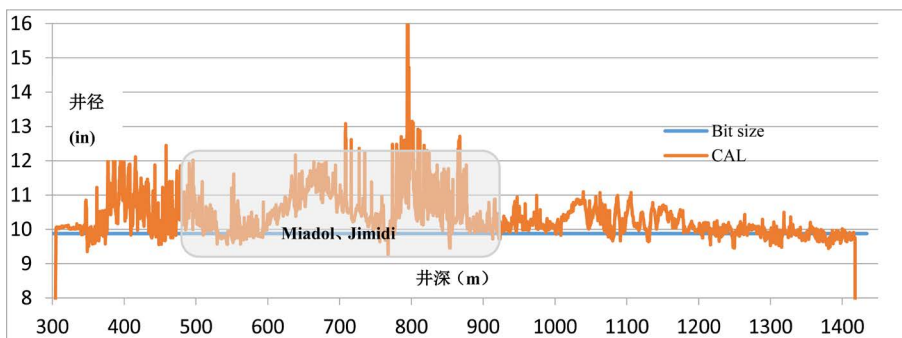


Figure 3. Caliper logging curve of the well FN-24
图 3. FN-24 井井径测井曲线图

4.3. 钻头泥包

由于南苏丹 3/7 区中下部地层岩性以泥岩为主，容易坍塌入井，造成钻井液中固相含量增加，如果得不到及时清除，极易导致钻头泥包及水眼被堵。2015 年钻井 25 口，有 7 口在钻井过程中发生了钻头泥包，总共处理时间 152.75 小时，主要发生在 Adar、Yabus 地层，如表 2 所示。

Table 2. Balling up trouble data statistics of the 3/7 block oilfield in South Sudan
表 2. 南苏丹 3/7 区泥包复杂情况详细表

井名	钻井复杂	处理时间(hrs)	地层层位
Ha-22	钻头泥包	20	Yabus
Ha-26	钻头泥包	43.75	Adar
Ha-29	钻头泥包	16.5	Yabus
Ma-22	钻头泥包	16.25	Adar
Ma-24	钻头泥包	33	Adar
PS-13	钻头泥包	20.5	Jimidi
Mh-18	钻头泥包	2.75	Adar

4.4. 卡钻

该油田钻遇的卡钻复杂相对较少。在查看的近 100 口已钻井中有 3 口井发生了卡钻，大多发生在二开井段，其中 1 口井发生了 2 次卡钻，如表 3 所示。2015 年已钻井中 1 口井中发生了卡钻复杂，即 As-15 井，复杂处理时间将近 2 天，造成卡钻的原因是钻至 975 米(Jimidi 地层)，由于安全因素需要钻井人员撤离，必须关井，关井将近 10 天，井眼裸眼被钻井液浸泡时间过长，导致泥岩水化膨胀而缩径；另一个原因就是停泵时间过长，岩屑过多，且钻井液长期不循环，其粘度和切力值较高。另外 2 口井是水平井，在斜井段容易岩屑堆积，泥岩地层容易缩径，这两个原因叠加，提高了卡钻复杂发生的几率。

Table 3. Stuck trouble data statistics of the 3/7 block oilfield in South Sudan
表 3. 南苏丹 3/7 区卡钻复杂情况详细表

井名	钻井复杂	处理时间(hrs)	地层层位	件数
FM-26H	卡钻	19.5	Miadol/Yabus	由缩径/岩屑堆积引起
FD-33H	卡钻	15.75	Adar	由缩径引起
As-15	卡钻	41	Jimidi	由长时间关井引起

5. 钻遇复杂风险分析

针对南苏丹 3/7 区出现的钻井复杂情况，结合该区块的地层岩性特点，处理和预防复杂可从三个方面着手：一是选择合理的钻井参数；二是在泥岩地层增加提钻划眼、循环的次数；三是调整钻井液密度。钻井液密度对保证井眼安全钻进的影响非常大，如图 4 所示，钻井液密度应大于孔隙压力梯度及剪切破坏梯度，小于岩石破裂压力梯度；当钻井液液柱压力严重低于孔隙压力时，会导致严重的井壁坍塌；当钻井液密度在孔隙压力梯度与剪切破裂梯度之间时，会导致井眼形成缩径，同时形成剪切破裂；当钻井液密度大于破裂压力梯度时，则会导致漏失复杂[1] [2]。

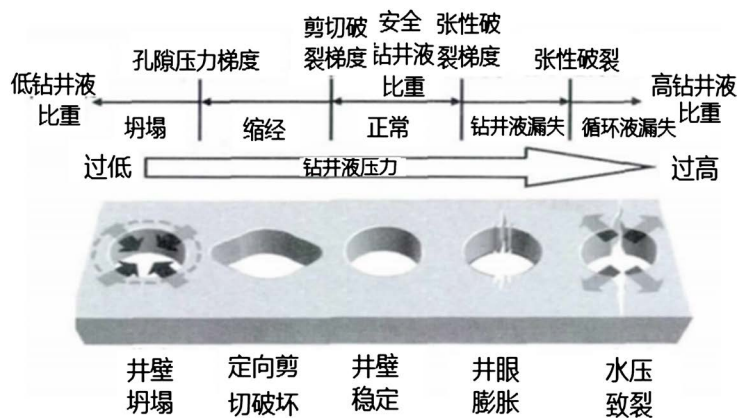


Figure 4. Influence of drilling fluid density on the wellbore
图 4. 钻井液密度对井眼的影响

5.1. 地层漏失的处理及预防

在南苏丹 3/7 区上部地层 Agor、Daga 地层存在钻遇漏失的风险，且漏失一般比较严重，经常钻遇无返出性漏失，处理方式首先是采取随钻堵漏技术，在钻井液中加入随钻堵漏材料进行循环；如果随钻堵漏无效，则采用注水泥塞堵漏技术，利用钻杆在漏失地层井眼中注入速凝水泥浆，水泥浆凝固之后再继续进行钻井作业，一般不会重复发生地层漏失。

该区地层漏失主要发生在上部疏松地层，通过前期预防工作可以进一步降低漏失发生的风险。首先，采用高粘度泥浆快速强钻通过；其次，现场准备足够的随钻堵漏材料；泥浆工程师对钻井液总量进行检测，及时发现漏失，把握堵漏时机，尽早将堵漏材料加入钻井液中进行先期堵漏，以防形成大漏或恶性漏失；钻井过程中尽量减少激动压力的出现；及时调整钻井液性能[3] [4] [5] [6] [7]。

5.2. 缩径与坍塌的处理及预防

井眼缩径和坍塌均会造成过提、遇阻，但是处理方式是不同的。处理井眼缩径需要进行短起下、划眼作业，循环钻井液以清洁井眼；处理坍塌复杂需要调整钻井液性能，增加钻井液密度，同时循环钻井液以清洁井眼。

南苏丹 3/7 区油田发生井眼缩径与坍塌复杂，这与地层岩性及岩石的矿物组份、钻井液密度及性能、地层应力状态有关。无法改变和调整地层岩性及岩石矿物组份，但是可以通过施工措施、钻井液的密度调整和钻井液性能优化来预防井眼缩径与坍塌。

南苏丹 3/7 区从 Daga 地层下部到 Yabus 地层上部存在大段泥岩，和砂岩夹层，易水化膨胀导致缩径，同时存在坍塌的风险，为此采用 KCl 钻井液来预防井壁失稳，其作用机理：一是 KCl 抑制作用使井壁稳定、不吸水膨胀软化，保持井壁硬度是稳定井壁的前提；二是添加 GWJ 防塌剂、FT-1 暂堵剂封堵微裂缝，阻止水进入泥岩层理造成裂解；三是保持合理的密度，这是稳定井壁的关键，合理的钻井液密度，不仅可以平衡释放的地应力，而且也能够使封堵粒子进入微缝形成致密屏蔽带；四是控制好钻井液的 PH 值，最好在 8.0~9.0 之间，过高的 PH 值会促进泥岩水化分散[4] [5]。

除了采用技术上的预防措施，在施工当中也可采取一些预防措施以维持井壁稳定。一是每钻进 300 米左右，循环钻井液，清洁井眼，进行短起下作业；二是钻至下部地层起钻至井口，再次下钻过程中，至少循环钻井液一周；三是在钻井作业过程中，尽量采用钻井液密度窗口的上限，四是严格使用固控设备，振动筛、除砂器、除泥器、离心机等，保证钻井液达到净化要求[8] [9]。

5.3. 钻头泥包的处理及预防

南苏丹 3/7 区出现钻头泥包可从以下几个现象判断：钻速明显降低，1 m/hr 左右；扭矩严重波动；泵压升高等。钻头堵水眼、钻头泥包复杂情况发生后，采用先冲洗后换钻头，即首先将钻头提离井底，增大排量进行清洗；若清洗无效，则上提钻具至井口，对钻头进行清理或者更换钻头。

预防钻头泥包发生的最主要技术措施是对钻井液性能进行维护和调整。尤其是对于该区块的泥岩地层，需要控制钻井液的失水，提高钻井液的抑制性、润滑性，同时加强固相含量控制。工程措施是采取尽可能大的排量，将井底岩屑尽快带出，防止形成淤泥而泥包钻头；同时优选钻头和喷嘴；作业过程中送钻要均匀；钻压不可过大[8] [9]。

5.4. 卡钻的预防及处理

南苏丹 3/7 区钻遇地层主要是泥岩地层，容易发生井眼缩径或井壁坍塌产生的岩屑堆积，从而造成卡钻。尤其在定向井或水平井的二开、三开的斜井段，岩屑容易堆积，存在卡钻复杂发生的风险。处理卡钻复杂采用难易渐进式方法解卡，即首先进行开泵循环，清洁井眼，然后活动钻具；若钻具无法活动，可采用震击器震击解卡；若震击解卡仍然无效，则用解卡剂浸泡，逐步活动钻具；如果解卡剂依然无法解卡或者发现卡钻后开泵不通，则采用倒钻具或爆炸松扣，将卡点以上钻具倒出，然后再套铣落鱼。

A-15 井关井 10 天左右，逐步开泵循环，多次活动钻具均无效，后采用油泡解卡剂进行浸泡，根据公式(1)计算得出，需要 10 m³ 解卡液进行浸泡，浸泡 6 个小时，逐步活动钻具，得以解卡。解卡剂用量计算公式如下：

$$Q = K \frac{\pi(D^2 - d_{\text{外}}^2)H}{4} + \frac{\pi d_{\text{内}}^2 h}{4} \quad (1)$$

Q ——解卡剂用量，m³；

K ——井径扩大系数，一般取 1.2~1.25；

D ——钻头直径，m；

$d_{\text{外}}$ ——钻杆外径，m；

$d_{\text{内}}$ ——钻杆内径，m；

H ——管外浸泡高度，一般要求泡过卡点以上 100 米；

h ——管内解卡剂高度，m。根据卡钻的具体情况和预计浸泡时间来决定，一般比管外解卡剂液面高出 200~400 米[10]。

公式中参数影响解卡效果的是浸泡高度，管内外浸泡高度均需达到要求，同时浸泡时间不要超过 12 小时。

为预防南苏丹 3/7 区卡钻复杂的发生，在钻井作业过程中，检测钻井液性能参数，根据情况及时进行循环，以清洁井眼，防止岩屑的堆积；优化钻井液性能，防止井眼缩径的发生；钻具带上震击器，同时检查钻具，已有损伤的钻具不再下入井眼等[9] [11]。

6. 结论与认识

1) 南苏丹 3/7 区钻遇的主要复杂是地层漏失、缩径坍塌、泥包、卡钻，对其出现的成因进行逐一分析。

2) 针对地层漏失复杂，提出采用随钻堵漏和水泥回注对策；针对井眼缩径与坍塌，提出采用循环短起下、划眼、清洁井眼、增加钻井液密度等不同的处理方法；针对钻头泥包复杂，提出先冲洗钻头、若

无效再更换钻头,同时优化钻井液性能等措施;针对卡钻复杂,提出采用难易渐进式方法解卡。

3) 本文为该区块在后期的钻井作业中预防复杂发生、及时采取合理有效的方法处理钻遇复杂,提高钻井作业效率,降低钻井成本,提供了重要的技术参考,对本区块和其他相似区块的油田钻井有着重要的借鉴意义。

致 谢

非常感谢中国石油勘探开发研究院的赵国良、王瑞峰、聂臻、黄奇志、冯敏、王敏等对本文提供的指导和帮助。

参考文献

- [1] 毕博. 泥页岩渗透水化作用对井壁稳定的影响[J]. 钻井液与完井液, 2011, 28(z1): 1-3+6.
- [2] 尹帅, 丁文龙, 杨文娜, 等. 考虑地层各向异性井壁稳定性研究进展[J]. 地球科学进展, 2015, 30(11): 1218-1230.
- [3] 王中华. 复杂漏失地层堵漏技术现状及发展方向[J]. 中外能源, 2014, 19(1): 39-48.
- [4] 郭健康, 鄢捷年, 范维旺, 等. KCl/聚合物钻井液的改性及其在苏丹 3/7 区的应用[J]. 石油钻探技术, 2005, 33(6): 28-31.
- [5] 刘徐全, 杨金荣, 张鑫, 等. Drill-in 钻井液在苏丹 37 区水平井中的应用[J]. 钻井液与完井液, 2012, 29(2): 83-85.
- [6] 卢小川, 狄明利, 王伟. 渤海油田井漏对策探讨[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2017, 14(11): 46-49.
- [7] 郑有成, 李向碧, 邓传光, 等. 川东北地区恶性井漏处理技术探索[J]. 天然气工业, 2003, 23(6): 84-85.
- [8] 李作宾. TasW-1 井钻井复杂情况处理技术[J]. 石油钻探技术, 2010, 38(2): 88-90.
- [9] 明显森, 袁志平, 宾承刚. 长宁页岩气井钻井复杂情况及钻井液工艺技术[J]. 钻井液与完井液, 2017, 34(5): 44-49.
- [10] 李克向. 钻井手册[M]. 北京: 石油工业出版社, 1990.
- [11] 安雷, 沈国敏, 思娜. 尼日尔三角洲 B 区块 7-A 井卡钻事故的处理及原因分析[J]. 西部探矿工程, 2013, 25(9): 22-26.