

# 缅甸 D 区块 Yagyi-1x 井控压钻井技术

苏 勤<sup>1</sup>, 邢树宾<sup>2</sup>

(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:** 缅甸 D 区块极易发生井漏与坍塌等井下故障,严重影响了钻井时效。结合该区块的压力剖面和钻井实践分析认为,钻井液安全密度窗口窄是引发井下故障的主要原因。由于控压钻井技术是解决窄安全密度窗口安全钻进问题的有效技术手段,因此首先结合缅甸 D 区块的实际情况分析了控压钻井技术在该区块的适应性,并制定了 Yagyi-1x 井控压钻井技术方案。该井五开井段应用了控压钻井技术,有效缓解了漏失,解决了井壁坍塌的技术难题,提高了钻井时效(与 Yagyi-1 井相比,提高 28%)。

**关键词:** 控压钻井 安全密度窗口 井漏 井塌 缅甸 D 区块 Yagyi-1x 井

**中图分类号:** TE249    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1001-0890(2011)04-0025-04

## Managed Pressure Drilling for Well Yagyi-1x in Block D of Myanmar

Su Qin<sup>1</sup>, Xing Shubin<sup>2</sup>

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

**Abstract:** Block D in Myanmar is frequently faced with complicated drilling situations, such as well leakage and collapse etc. Through analysis of the pore pressure profile and drilling experience, it is believed that narrow safety drilling fluid window is the main reason. Managed Pressure Drilling (MPD) is an effective technical method to solve the narrow safety drilling window problem. This paper analyzed the applicability of MPD in this block. The implementation plan was developed for Well Yagyi-1x. In 5th spud, MPD helped reduce leakage and improve drilling efficiency, which shows this technique is efficient in solving the problem of narrow safety drilling fluid window.

**Key words:** managed pressure drilling; safety drilling fluid window; lost circulation; hole caving; Block D in Myanmar; Well Yagyi-1x

缅甸 D 区块在构造演化过程中,受挤压和推覆切割作用的影响,塔本组上部地层倾角 20°~45°,属于高陡构造,裂缝、孔隙发育,地层比较破碎,钻井过程中极易发生井漏与坍塌。从实钻资料看,该区块地层岩性自上而下多为泥/页岩与砂岩互层,地层坍塌和漏失的矛盾比较突出,大大影响了钻井时效。以 Yagyi-1 井为例,全井非生产时间占全井时效的 34.4%,其中,处理井漏 57 d,处理井塌、缩径划眼时间 29 d,处理井漏时间占非生产时间的 56%。该区块频繁发生井塌和井漏的根本原因是该区块地层的钻井液安全密度窗口窄,而控压钻井技术可以在钻井过程中精确控制井底压力<sup>[1]</sup>,是当前解决窄安全密度

窗口问题的有效技术手段,因此,该区块 Yagyi-1x 井试验应用了控压钻井技术钻穿窄安全密度窗口地层。

## 1 安全密度窗口分布与井下故障情况

缅甸 D 区块篷当组和塔本组地层在钻进过程中漏失频繁,漏失层段多,而且漏失压力和地层孔隙压力、坍塌压力相差不大,钻井液安全密度窗口很

收稿日期:2011-05-10;改回日期:2011-06-28。

作者简介:苏勤(1966—),男,1989 年毕业于石油大学(华东)钻井工程专业,工程部经理,高级工程师,主要从事钻井工程管理工作。

联系方式:(010)82332961, qsu@sicp.cn。

窄。图 1 为 D 区块 Yagy-1 井坍塌-孔隙-漏失-破裂压力剖面。从图 1 可看出:800~1 500 m 井段安全密度窗口为 0.10~0.15 kg/L,主要是坍塌压力与漏失压力的差值太小,为了防漏,钻井液密度低于坍塌压力当量密度时,井壁失稳严重;2 000~2 300 m 井段安全密度窗口 0.085~0.10 kg/L,钻井液密度小于坍塌压力当量密度时,会出现井塌井漏共存现象,尽管钻井液当量循环密度(ECD)小于漏失压力当量密度,该井段还是出现了多次漏失,分析认为是断层所致;井深 2 800 m 附近安全密度窗口 0.08 kg/L 左右,同上部井段一样,若钻井液密度低于坍塌压力当量密度,井壁失稳;井深 3 300 m 以深,孔隙压力和漏失压力当量密度的差最小为 0.10 kg/L。

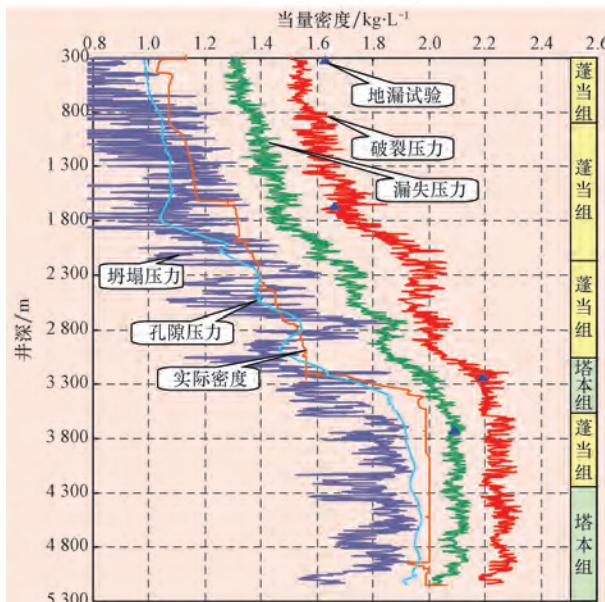


图 1 Yagy-1 井坍塌-孔隙-漏失-破裂压力剖面

Fig. 1 The collapse-pore-loss-fracturing pressure profiles of Well Yagy-1

从以上 Yagy-1 井的安全密度窗口的分布来看,D 区块安全密度窗口窄的问题突出,从而造成了该区块钻井过程中出现多种井下故障,降低了钻井效率,增加了钻井成本。井下故障主要表现为以下几种:

**漏失严重** 缅甸 D 区块断层较多,地层裂隙多,砂泥岩界面胶结差,导致漏层多。Yagy-1 井从一开到五开结束,一直有井漏发生。该井共发生井漏 77 次,累计漏失钻井液 5 871.0 m<sup>3</sup>。漏失层位为蓬当组和塔本组,主要为地层渗漏和裂缝性漏失。Patolon-2 井一开发生井漏 8 次,共进行 29 次堵漏,累计漏失钻井液 6 784.0 m<sup>3</sup>(包括盲钻过程中的漏失);二开共发生失返性井漏 15 次,渗漏不断,累计

漏失钻井液 6 500.0 m<sup>3</sup>;三开共漏失钻井液 125.6 m<sup>3</sup>;四开漏失钻井液 630.0 m<sup>3</sup>;五开共漏失钻井液 27.6 m<sup>3</sup>;全井累计漏失钻井液 14 067.2 m<sup>3</sup>。

**井壁易坍塌** 在该区块已完钻的 5 口井中,多口井在不同层位发生了井壁坍塌。Yagy-1 井二开  $\phi 444.5$  mm 井段在钻至井深 1 617.00 m 后起钻及下钻过程中,已钻井段井壁严重坍塌,造成长时间划眼。该井三开钻至井深 2 196.65 m 时,由于井下掉块,且井眼渗漏时有发生,造成接单根以及起下钻十分困难。该井从井深 2 705.00 m 开始一直到井深 2 761.32 m 井下连续出现掉块,采取将钻井液密度逐渐提高至 1.54 kg/L、进一步提高钻井液抑制性和防塌性、加大超细碳酸钙的加量、适当提高钻井液黏度切力等措施后,钻至井深 2 801.00 m 以深,井壁基本稳定,只有少量掉块。

**由于气侵或高压水侵经常发生溢流** Yagy-1 井钻至井深 3 202.00 m 时,气测全烃值由 7.210% 升至 38.746%,钻井液池中液量增加 0.8 m<sup>3</sup>,钻井液出口密度由 1.56 kg/L 降至 1.45 kg/L。边循环排气边将入口钻井液密度提高至 1.59 kg/L 后,气测全烃值降至 10% 以内。钻至井深 3 203.00 m 时,全烃值升至 67.836%,钻井液池中液量增加 7.0 m<sup>3</sup>,钻井液出口密度由 1.57 kg/L 降至 1.37 kg/L,黏度由 72 s 升至 84 s,继续采用边循环排气边加重钻井液的方法。四开在 3 246~3 249 和 3 268~3 269 m 井段钻遇 2 层高压油气显示层,将钻井液密度分别由 1.70 kg/L 提高至 1.77 和 1.81 kg/L。

## 2 控压钻井适应性评价

控压钻井技术用于精确控制整个井眼的环空压力分布,其目的是确定井下压力窗口,并根据压力窗口控制环空压力分布。该技术主要是通过对井口回压、流体密度、流体流变性、环空液位、水力摩阻和井眼几何形态进行综合分析控制,使整个井筒的压力维持在地层孔隙压力(或坍塌压力)和破裂压力(或漏失压力)之间,进行平衡或近平衡压力钻井,有效控制地层流体侵入井眼,减少井涌、井漏和卡钻等多种井下故障,非常适用于安全密度窗口较窄的地层<sup>[1-8]</sup>。

从前面的缅甸 D 区块钻井井下故障统计分析可以看出,无论是漏失、溢流还是井壁坍塌,都是地层安全密度窗口窄造成的。从根本上讲,如果想有效减少井下故障的发生,精确控制井底压力的变化

是根本之选,而控压钻井技术正是解决该问题最有效的方法<sup>[9]</sup>。

从图 1 可以看出,上部地层坍塌压力与漏失压力当量密度差小,下部地层孔隙压力与漏失压力当量密度差小,这也是上部坍塌、下部漏失严重的根本原因。同时由于钻井液密度窗口过窄,在一些井段已经小于环空的循环压耗,导致在实钻过程中钻井液密度调节困难。而控压钻井技术是一种自适应的钻井工艺,可有效控制井筒环空压力波动<sup>[10]</sup>。比如在缅甸 D 区块下部地层安全密度窗口为 0.10 kg/L,而环空压耗高时达到 0.15 kg/L,常规钻井很难将整个钻井过程中的 ECD 控制在安全密度窗口内,很容易出现开泵漏失、停泵溢流的情况。在控压钻井过程中,可以采取分步调节泵排量,相应调节井口回压的方法控制 ECD 在安全密度窗口内,达到防漏防喷的目的。

### 3 Yagy-1x 井控压钻井技术方案

Yagy-1x 井是一口定向井,因此,该井与直井 Yagy-1 井相比,安全密度窗口窄的问题更加严重。依据钻前的地层压力预测, Yagy-1x 井五开的 3 150~3 250 m 井段地层孔隙压力、漏失压力和破裂压力当量密度分别为 1.9, 2.0 和 2.2 kg/L; 3 250~3 600 m 井段地层孔隙压力、漏失压力和破裂压力当量密度分别为 2.0, 2.1 和 2.3 kg/L。因此,决定采用控压钻井技术钻进这两个井段。

#### 3.1 优选钻井液密度

参考 Yagy-1x 井的钻井液性能,假定钻井液塑性黏度为 70 mPa·s, 动切力为 30 Pa, 泵排量为 20 L/s。3 150~3 250 m 井段安全密度窗口内的钻井液密度范围为 1.72~1.82 kg/L, 为减少井涌和溢流风险,同时又要避免发生漏失,尽量采用高密度钻井液,建议使用密度为 1.8 kg/L 的钻井液,正常钻进时井底 ECD 为 1.98 kg/L。

3 250~3 600 m 井段安全密度窗口内的钻井液密度范围为 1.82~1.92 kg/L, 使用密度 1.9 kg/L 的钻井液,井底 ECD 将达到 2.08 kg/L。如果上部 3 150~3 250 m 井段漏失严重,需要采取承压堵漏措施来扩大安全密度窗口。

#### 3.2 确定开停泵(接单根)时井口压力控制方案

为减小井底压力波动,开停泵过程中,采用阶梯

调整排量和井口回压的方法。模拟计算了不同排量下的井底 ECD,并依此制定了开停泵时的压力控制方案,见图 2。

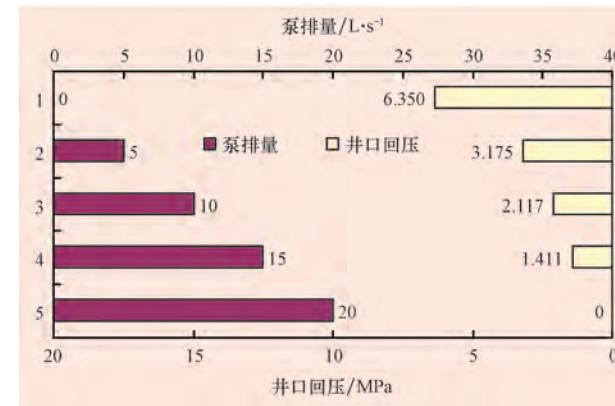


图 2 开停泵过程中井口压力控制方案

Fig. 2 Back pressure control scheme during start pump

#### 3.3 起下钻井口压力控制方案

起下钻过程中,由于抽汲压力和激动压力的存在,造成井底 ECD 波动,尤其在装有浮阀的情况下,下钻时的激动压力更大。采用在井口加回压和适当放慢起下钻速度的方法,将 ECD 控制在安全钻井液密度窗口内。

在装有单流阀的情况下,模拟计算了起下钻速度分别为 20, 15, 10 和 5 m/min 时的抽汲压力和激动压力当量密度,结果见图 3。从图 3 可以看出,在装有单流阀的情况下,起下钻速度相同时,激动压力明显大于抽汲压力。

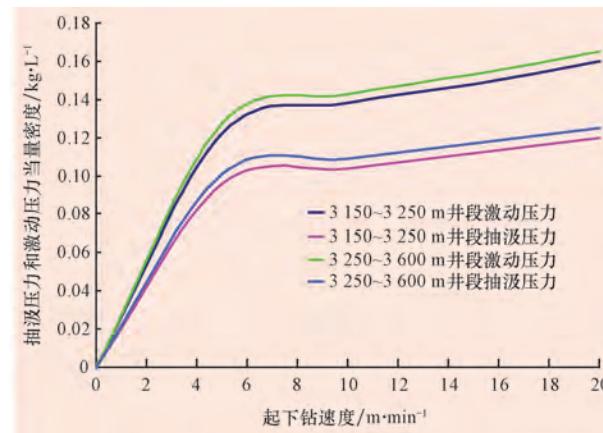


图 3 抽汲压力和激动压力随起下钻速度的变化

Fig. 3 Surge/swab pressure with the variation of trip velocity

3 150~3 250 m 井段,下钻时井口回压控制在 3.2 MPa(静止状态下 ECD 为 1.9 kg/L, 不低于孔隙压力当量密度),考虑漏失压力当量密度为 2.0

kg/L, 从理论上来说, 激动压力当量密度最大不能超过 0.1 kg/L, 才能保证地层不漏失。从图 3 可查得激动压力当量密度为 0.1 kg/L 时的下钻速度为 4 m/min。

起钻过程中井口回压最大加至 6.37 MPa (ECD 为 2.0 kg/L), 为压稳地层, 最大抽汲压力当量密度不超过 0.1 kg/L。从图 3 可查得抽汲压力当量密度为 0.1 kg/L 时的起钻速度为 6 m/min。

3 250~3 600 m 井段, 假定使用密度 1.9 kg/L 的钻井液, 下钻时, 井口回压控制在 3.5 MPa (静止状态下 ECD 为 2.0 kg/L), 下钻过程中最大激动压力当量密度为 0.1 kg/L, 下钻速度不超过 4 m/min。起钻过程中井口加 7 MPa 回压 (ECD 为 2.1 kg/L), 同样, 起钻过程中的最大抽汲压力当量密度为 0.1 kg/L, 起钻速度不得大于 5 m/min。

从起下钻速度控制看, 在窄安全密度窗口地层控压钻井中, 最大抽汲压力和激动压力取决于安全密度窗口的宽度和钻井液性能。通过堵漏适当扩大安全密度窗口和降低钻井液黏度, 可以提高起下钻速度, 同时保障井下安全。

## 4 控压钻井应用效果

Yagyi-1x 井应用控压钻井技术钻至设计井深 3 602.00 m 时, 比设计钻井时间缩短 46%, 纯钻时效比 Yagyi-1 井提高 28%, 钻进中不仅没有出现大的井漏, 而且解决了井壁坍塌的难题。钻至设计井深后, 根据地质要求进行了加深, 顺利钻至完钻井深 3 850.0 m。五开井段钻井液密度为 1.84~1.86 kg/L, 仅在加深井段发生 4 次渗透性漏失, 但加入随钻堵漏材料后漏失逐渐消失。Yagyi-1x 井五开井段仅漏失钻井液 65.4 m<sup>3</sup>, 而 Yagyi-1 井在 3 721~3 747 m 井段就漏失钻井液 930.00 m<sup>3</sup>, 当时钻井液密度 1.99 kg/L。

## 5 结论与建议

1) 缅甸 D 区块频繁发生井塌和井漏的根本原因是该区块钻井液安全密度窗口窄。

2) 缅甸 D 区块采用控压钻井技术, 有效控制了漏失, 解决了井壁坍塌的难题。

3) 在钻进安全密度窗口窄的地层时, 建议采用随钻堵漏和控压钻井技术相结合的方式。

## 参 考 文 献

- [1] 周英操, 崔猛, 查永进. 控压钻井技术探讨与展望[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.
- [2] 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 technique[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(1): 34~38.
- [3] 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): 5~10.  
Zheng Fenghui, Han Laiju, Yang Li, et al. Development of novel drilling technology [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(4): 5~10.
- [4] 严新新, 陈永明, 燕修良. MPD 技术及其在钻井中的应用[J]. 天然气勘探与开发, 2007, 30(2): 62~66.  
Yan Xinxin, Chen Yongming, Yan Xiuliang. MPD and its application to drilling[J]. Natural Gas Exploration & Development, 2007, 30(2): 62~66.
- [5] 刘超, 周玉海, 吴红玲, 等. 控制压力钻井技术在衡 6 井的应用[J]. 石油钻采工艺, 2009, 31(3): 34~37.  
Liu Chao, Zhou Yuhai, Wu Hongling, et al. Application of MPD technology to Heng 6 Well [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2009, 31(3): 34~37.
- [6] 张洪杰, 张德友, 刘亚斌. 控制压力钻井在沙特气田的应用[J]. 石油钻采工艺, 2009, 31(5): 36~39.  
Zhang Hongjie, Zhang Deyou, Liu Yabin. The field application of managed pressure drilling in Saudi Arabia Gas Field[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2009, 31(5): 36~39.
- [7] 张桂林. 土库曼斯坦亚苏尔哲别油田控压钻井技术[J]. 石油钻探技术, 2010, 38(6): 37~41.  
Zhang Guilin. Application of managed pressure drilling technology in Azorse Area, Turkmenistan [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(6): 37~41.
- [8] 孙凯, 梁海波, 李黔, 等. 控压钻井泥浆帽设计方法研究[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(1): 36~39.  
Sun Kai, Liang Haibo, Li Qian, et al. Research mud cap design managed pressure drilling[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(1): 36~39.
- [9] 侯绪田. 欠平衡钻井井底压力自动控制技术[J]. 石油钻探技术, 2004, 32(2): 25~26.  
Hou Xutian. Automatic control of bottom hole pressure while underbalance drilling[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2004, 32(2): 25~26.
- [10] 杨春国, 侯绪田, 曾义金. 欠平衡压力钻井井底压力控制技术探讨[J]. 石油钻探技术, 2000, 28(5): 22~23.  
Yang Chunguo, Hou Xutian, Zeng Yijin. Investigation of downhole pressure control for underbalanced drilling[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2000, 28(5): 22~23.