

YD油田钻井取心技术难点及对策

吴为¹, 令文学², 司英晖³

(1. 中国石化国际石油勘探开发有限公司,北京 100029;2. 中国石化石油工程技术研究院,北京 100101;3. 中石化胜利石油工程有限公司钻井工艺研究院,山东东营 257017)

摘要:YD油田早期探井的岩心资料不全,且岩心收获率偏低。为补全岩心资料,提高该油田的岩心收获率,针对该油田取心井段地层溶洞发育、易破碎,地层岩性非均质强,软硬地层交错且高含H₂S等特点,在分析该油田钻井取心技术难点的基础上,结合该油田的钻井取心实践,从取心工具的选择、井眼准备、下钻、取心参数的优化、割心及起钻等方面,提出了提高YD油田岩心收获率的技术对策,并在YD油田APP3井和F09井钻井取心时进行了现场试验,2口井的岩心收获率得到大幅提高。这表明,该取心技术对策可以解决YD油田钻井取心存在的技术难点。

关键词:取心 岩心收获率 取心工具 YD油田

中图分类号:TE254 文献标志码:A 文章编号:1001-0890(2015)03-0018-05

Coring Challenges and Solutions in the YD Oilfield

Wu Wei¹, Ling Wenxue², Si Yinghui³

(1. Sinopec International Petroleum Exploration and Production Corporation, Beijing, 100029, China; 2. Sinopec Research Institute of Petroleum Engineering, Beijing, 100101, China; 3. Drilling Technology Research Institute, Sinopec Shengli Oilfield Service Corporation, Dongying, Shandong, 257017, China)

Abstract: In the YD Oilfield, early wildcat wells provided only limited core data and there was low core recovery. In order to acquire enough core data and to improve the core recovery in this oilfield, coring challenges were first analyzed, since the coring intervals were prone to break due to existence of dissolved caves and the fact they contained alternating hard and soft formations with high heterogeneity and high H₂S. Then, considering these challenges and the practice of coring in this oilfield, a specific coring solution was proposed for the YD Oilfield, that included consideration of aspects of coring tools selection, wellbore preparation, running in hole, coring parameters optimization, core cutting and pulling out of hole. In addition, this article also demonstrates the coring drilling experiences in Well APP3 and F09. The solution was applied in Wells APP3 and F09, and their core recovery rate in these wells significantly improved. The results indicate that the proposed solution could effectively address the challenges of coring in this oilfield.

Key words: coring; core recovery rate; coring tools; YD Oilfield

YD油田为中东地区少数整装未开发的大型油田之一,主力开采层位为S层和F层。该油田已钻探井的地层岩心资料不足和缺失,且岩心收获率偏低,而在一期开发过程中急需在关键井中的某些层段取心,以摸清该油田的储量分布及油藏特性。该油田的取心层位S层和F层的地层特性不同,且这两个地层孔洞发育、地层破碎、岩性非均质性强、高含硫化氢,而这些都对该油田的钻井取心作业是一个挑战。岩心收获率偏低,不仅会增加钻井作业综

合成本,而且由于本应获取的岩心资料未获得,导致油田储量评估的不确定性,从而影响整个油田开发

收稿日期:2015-02-20;改回日期:2015-04-21。

作者简介:吴为(1982—),男,湖北天门人,2006年毕业于长江大学机械设计制造及其自动化专业,2009年获中国石油大学(北京)油气井工程专业硕士学位,工程师,主要从事钻井技术管理及科研等工作。

联系方式:(010)69165305, www.sipc@sinopec.com。

基金项目:国家科技重大专项“中东复杂地层安全快速钻井关键技术研究”(编号:2011ZX05031-004-001)资助。

方案的制定。为此,笔者在分析该油田取心技术难点的基础上,分析了该油田 5 口关键井的取心作业情况,提出了一套提高该油田岩心收获率和保障作业安全的取心技术措施,以期为该油田二期开发过程中安全高效取心提供技术保障。

1 YD 油田钻井取心技术难点

YD 油田有 S 层和 F 层 2 个主力产层。S 层埋深约 3 000.00 m, 为破碎性灰岩储层, 地层压力系数 1.15 左右, H_2S 体积分数 0.3%~0.5%; F 层埋深约 4 200.00 m, 为破碎性灰岩储层, 地层压力系数 1.30~1.70, H_2S 体积分数 0.5%~0.9%。F 层的下部存在 2 套不同的压力体系, 处于同一裸眼段的 FU 小层和 FL 小层压差高达 20 MPa, 极易发生压差卡钻。YD 油田一期开发过程中多口井在该层段发生卡钻事故^[1]。该油田钻井取心存在的主要技术难点为:

- 1) 白垩纪的 S 层主要由浅海大规模碳酸石灰岩和白云质灰岩组成, 具有溶洞发育、易破碎、地层岩性不均匀、软硬交替等特点, 取心时易发生磨心堵心^[1]。
- 2) F 层主要由灰岩组成, 但该地层局部岩性不纯, 含有晶体杂质, 地层孔隙裂缝发育, 泥质填充, 含少量微裂缝, 疏松且易破碎。该地层的岩心抵抗侧向力弱, 钻具稍有弯曲就会造成岩心在钻头处折断, 发生堵心, 而且还容易磨心^[2], 影响岩心收获率并增加作业成本。
- 3) F 层的 FU 小层压力系数为 1.70, FL 小层压力系数为 1.30, 均为孔隙灰岩储层, 渗透性好, 钻井液的液柱压力与地层压力的压差大, 在取心过程中极易发生压差卡钻。
- 4) 井底温度高(S 层井底温度 100 °C 左右, F 层 150 °C 左右), 且取心层位均为高含 H_2S 地层, 对取心前的安全预案分析、取心工具的选择、防 H_2S 钻井液系统及出心和地面割心过程中的安全防护都提出了很高的要求^[3]。
- 5) 由于取心井段都在主力产层, 油气显示活跃, 尤其 F 层属于高压储层, 取心过程中井控风险较大。
- 6) 由于该油田缺乏之前的钻井取心数据和邻井地质资料, 对取心地层的准确预测、取心钻具组合(BHA)、取心参数的选择及井口出心等都需要进行详细的研究^[4]。
- 7) 钻井成本高, 建井周期短, 取心井段长, 如何

在保证岩心收获率的同时提高钻井取心作业效率, 又是一大挑战^[5]。

2 钻井取心技术措施

2.1 取心工具的选择

2.1.1 取心工具

由于缺乏邻井的地层资料, 无法了解取心层位的岩性、硬度、可钻性、研磨性和地层胶结程度。因此, 只能根据该油田以往的取心情况和取心效果选择取心工具。该油田主要采用 Y 型取心工具, 该取心工具适用于中硬地层—硬地层的取心作业。根据该油田取心经验, $\phi 311.1$ mm 井眼和 $\phi 212.7$ mm 井眼主要选用 Yb8100 型取心工具, $\phi 149.2$ mm 井眼主要选用 Y670 型取心工具。

该油田使用过单筒、双筒及三筒取心方式, 其中单筒取心 4 筒次, 平均单趟进尺 6.10 m, 平均岩心收获率 100.00%; 双筒取心 39 筒次, 平均单趟进尺 14.08 m, 平均岩心收获率 89.05%; 三筒取心 18 筒次, 平均单趟进尺 15.98 m, 平均岩心收获率 77.55%。综合分析, 单筒岩心收获率虽高, 但时效差, 单位进尺综合成本高, 仅推荐在破碎易丢心地层采用该取心方式; 双筒取心与三筒取心作业方式相比, 平均收获率高 11.5 百分点, 而且平均单趟进尺仅少 1.90 m, 综合考虑钻井时效及岩心收获率, 推荐优先采用双筒取心方式。

2.1.2 取心钻头

选择合适的取心钻头, 能够保持工具的稳定性、保护岩心的完整性, 防止堵心现象发生及提高取心效率^[6-7]。根据该油田取心地层的地质特征, 定制了几种型号的取心钻头, 并进行了现场试验。由现场试验结果得知, PMC037 型和 TMC536 型取心钻头具有较好的适应性。PMC037 型钻头的圆弧形冠部为胎体, 切屑齿为 $\phi 8$ mm PDC 复合片, 布齿密度加强, 具有很强的抗冲击性和攻击性, 取心钻进时主要采用该型号钻头。但当在取心过程中钻遇非均质地层, 扭矩变化幅度大, PDC 钻头出现崩齿等现象时, 应更换为刃小、更抗冲击的 TMC536 型钻头, 以降低扭矩, 减小取心工具的晃动, 提高岩心收获率。

2.1.3 岩心爪

在松软地层取心时主要选择加压式岩心爪, 在

硬地层、高耐磨地层取心时主要选择上拔式岩心爪。考虑 YD 油田取心地层的情况,为提高岩心收获率,选用由加压式岩心爪和上拔式岩心爪组成的组合式岩心爪。

2.1.4 取心钻具组合

根据 S 层的地层特征,可以选用常规取心钻具组合^[8]。F 层取心过程中存在卡钻风险,因此要对钻具组合进行优化,减少钻铤的用量,多使用加重钻杆,以减小钻具与井壁之间的接触面积。F 层取心推荐采用以下 2 种取心钻具组合:

- 1) $\phi 149.2\text{ mm}$ 取心工具 + $\phi 120.7\text{ mm}$ 钻铤 × 5 根 + $\phi 88.9\text{ mm}$ 加重钻杆 × 30 根 + $\phi 120.7\text{ mm}$ 随钻震击器 + $\phi 88.9\text{ mm}$ 加重钻杆 × 6 根 + $\phi 88.9\text{ mm}$ 钻杆;
- 2) $\phi 121.7\text{ mm}$ 取心工具 + $\phi 165.1\text{ mm}$ 钻铤 × 6 根 + $\phi 127.0\text{ mm}$ 加重钻杆 × 14 根 + $\phi 165.1\text{ mm}$ 随钻震击器 + $\phi 127.0\text{ mm}$ 加重钻杆 × 6 根 + $\phi 127.0\text{ mm}$ 钻杆。

2.2 井眼准备

为了保证取心时效和岩心收获率,取心作业前的井眼准备必须做到:

- 1) 井身质量必须与设计要求一致,起下钻无任何阻卡,井底保持干净。
- 2) 钻井液需要保持良好的性能,API 滤失量应控制在 5 mL 以内;在 FL 小层的取心过程中,要提前用无渗透钻井液对裸眼层段进行分段封堵;在取心过程中将润滑剂含量提高至 3%~5%,以提高钻井液的润滑性能;控制钻井液固相含量。
- 3) 由于取心层位均为储层,且高含 H₂S,必须准备充足的压井材料^[9]。
- 4) 必须精确预测每一筒岩心的预取层位,确保每趟钻取心最好以胶结程度较好的泥岩段开始到另一个泥岩段结束,以保证岩心的完整性和提高岩心收获率。
- 5) 相关的地面设备需要处于良好的工作状态。
- 6) 检查所有即将入井取心钻具组合的内径,确保取心作业中的投球能顺利到达预定位置。
- 7) 如果取心井段较长,尤其是在 F 地层取心时,建议在中途更换常规钻具组合时通井,并调整钻井液性能,这样可以有效防止卡钻事故的发生。

2.3 下钻

- 1) 严格按照推荐的上扣扭矩对取心工具的内

外筒、取心钻头和悬挂总成等各个部分进行上扣。

- 2) 取心工具入井前,再次核查取心内外筒之间的轴向间隙。
- 3) 平稳下放取心钻具组合,阻力不能超过设计的遇阻力,避免使用取心钻头进行划眼作业。
- 4) 当取心钻头离井底 8.00 m 时开泵,钻井液循环正常后缓慢将取心钻具下放至井底。

2.4 取心钻进

取心钻进过程中的关键是根据地层的岩性选取合适的取心参数。取心参数主要包括钻压、排量和转速等。

2.4.1 钻压

取心钻压应根据地层岩石的硬度确定。钻压必须大于地层的抗压强度,否则无进尺。如果取心钻压过小,可能出现钻速过慢,钻头磨损加重,甚至出现脱压的可能;钻压过大则可能出现堵心现象。

从钻压角度分析 YD 油田的取心情况,结果见表 1。

表 1 YD 油田不同钻压下取心收获率统计

Table 1 Core recovery rates under different WOBs in the YD Oilfield

钻压/kN	取心进尺/m	岩心长/m	收获率, %	筒次	平均单趟进尺/m
10~30	700.68	613.5	87.56	50	14.01
>30	160.32	122.8	76.60	11	14.57

由表 1 可见,采用小钻压(10~30 kN),有利于提高岩心收获率。其原因是,S 地层及 F 地层为破碎性地层,采用小钻压取心,能有效降低由于地层破碎造成的卡心和堵心的概率;同时,小钻压可以防止中长筒取心作业时取心工具弯曲,也有利于提高岩心收获率。

2.4.2 排量

以能够满足井底清洁和冷却钻头为前提选择排量。排量过大,钻井液冲击力大,容易破坏松软地层或硬度低地层的岩心;排量过小,不能保证井底清洁,钻头容易泥包,也会使钻头冷却不好而发生磨损。所以当地层较软时,在保证井底清洁的前提下,排量应适当降低;当地层较硬时,排量可适当增大。

2.4.3 转速

从理论上讲,在一定的限度下,如果钻头吃入地

层的深度不变,转速提高,钻速也会增大,岩心入筒时间随之缩短,有利于提高岩心收获率。但较高的转速会使钻头发生摆动,增大其横向作用力和钻柱的离心力,容易引起堵心和卡心。为保证取心效果,宜采用较低的转速。YD 油田几口井的取心作业实践表明,S 层及 F 层采用低转速(50~60 r/min)、小钻压,可以提高岩心收获率。

2.5 割心及起钻

1) 基于现场地质师的预测并结合钻时判断,尽量在胶结良好的泥岩地层割心,防止在起钻的过程中发生掉心^[10]。

2) 起钻时快速平稳,尽量缩短岩心在钻井液中的浸泡时间。同时严格执行关于高温高压井起钻的井控规定,包括连续灌浆、关键层位控制起钻速度等。

3) 按照取心预案中关于井口出心的规定执行出心作业。在出心前,要限定钻台上的作业人数,并配备正压式呼吸器;取心钻头出井口后,应用 H₂S 探测仪对取心钻头底部进行 H₂S 探测,确保出心安全^[3]。

3 现场试验

3.1 APP3 井

APP3 井为 YD 油田西部边缘的重点评价井,完钻井深 4 400.00 m。该井在 S 层 φ212.7 mm 井段完成 2 筒次取心,在 F 层 φ149.2 mm 井段完成 3 筒次取心。该井第一次进行了三筒取心技术的试验,取心情况如表 2 所示。

表 2 APP3 井取心数据

Table 2 Coring data of Well APP3

取心层位	取心井段/m	岩心长/m	收获率,%	取心筒次	平均单趟进尺/m	取心方式
S 层	2 859.00~2 874.50	13.83	89.2	1	15.50	三筒双稳定器
S 层	2 874.50~2 883.00	8.50	100.0	1	8.50	单筒简单稳定器
F 层	4 200.00~4 228.30	28.30	100.0	2	14.15	双筒三稳定器
F 层	4 228.30~4 232.00	3.70	100.0	1	3.70	单筒双稳定器

1) S 层三筒取心钻具组合为 φ212.7 mm 取心钻头(PMC037-8100型)×0.30 m+φ177.8 mm 取

心筒(Yb8100 型)×8.80 m+φ209.6 mm 稳定器×0.50 m+φ177.8 mm 取心筒(Yb8100 型)×8.80 m+φ209.6 mm 稳定器×0.50 m+φ177.8 mm 取心筒×8.80 m+φ193.7 mm 上接头×0.22 m+φ165.1 mm 钻铤×8 根+φ165.1 mm 随钻震击器+φ127.0 mm 加重钻杆×15 根+φ127.0 mm 钻杆。树心参数:钻压 11 kN,排量 16 L/s,转速 50 r/min;钻进取心参数:钻压 20~45 kN,排量 16 L/s,转速 50 r/min。

2) S 层单筒取心钻具组合为 φ212.7 mm 取心钻头(PMC037-8100型)×0.30 m+φ177.8 mm 取心筒(Yb8100 型)×8.80 m+φ209.6 mm 稳定器×0.50 m+φ193.7 mm 上接头×0.22 m+φ165.1 mm 钻铤×8 根+φ165.1 mm 随钻震击器+φ127.0 mm 加重钻杆×15 根+φ127.0 mm 钻杆。树心参数:钻压 9 kN,排量 16 L/s,转速 50 r/min;钻进取心参数:钻压 20~25 kN,排量 16 L/s,转速 50 r/min。

3) F 层双筒取心钻具组合为 φ149.2 mm 取心钻头(TMC536-670型)×0.23 m+φ146.1 mm 稳定器×0.50 m+φ120.7 mm 取心筒(Y670 型)×8.69 m+φ146.1 mm 稳定器×0.50 m+φ120.7 mm 取心筒×8.69 m+φ146.1 mm 稳定器×0.50 m+φ120.7 mm 安全接头×0.55 m+φ120.7 mm 钻铤×5 根+φ88.9 mm 加重钻杆×30 根+φ120.7 mm 随钻震击器+φ88.9 mm 加重钻杆×6 根+φ88.9 mm 钻杆。树心参数:钻压 4.5 kN,排量 8.875 L/s,转速 50 r/min;钻进取心参数:钻压 15~20 kN,排量 6.5~90 L/s,转速 50 r/min。

4) F 层单筒取心钻具组合为 φ149.2mm 取心钻头(TMC536-670)×0.23 m+φ146.1 mm 稳定器×0.50 m+φ120.7mm 取心筒(Y670 型)×8.69 m+φ146.1 mm 稳定器×0.50 m+φ120.7 mm 安全接头×0.55 m+φ120.7 mm 钻铤×5 根+φ88.9mm 加重钻杆×30 根+φ120.7 mm 随钻震击器+φ88.9 mm 加重钻杆×6 根+φ88.9 mm 钻杆。树心参数:钻压 4.5 kN,排量 7.1 L/s,转速 50 r/min;钻进取心参数:钻压 15~20 kN,排量 6.5 L/s,转速 50 r/min。

3.2 F09 井

F09 井为 YD 油田东北部的一口关键资料井,完钻井深 4 540.00 m。该井在 S 层 φ311.1 mm 井段完成 10 筒次取心,在 F 层 φ212.7 mm 井段完成

5 筒次取心。此外,通过总结之前 3 口井的取心经验,为了缩短建井周期,节约建井成本,该井大量采用了三筒取心技术,取心情况如表 3 所示。

表 3 F09 井取心数据

Table 3 Coring data of Well F09

取心层位	取心井段/m	岩心长/m	收获率, %	取心筒次	平均单趟进尺/m	取心方式
S 层	2 786.00~2 852.78	65.31	97.8	4	16.69	双筒双稳定器
S 层	2 852.78~2 952.00	93.91	94.65	6	16.54	三筒三稳定器
F 层	4 105.00~4 122.80	16.45	92.4	1	17.80	双筒双稳定器
F 层	4 122.80~4 195.00	64.95	89.96	4	18.05	三筒双稳定器

该井所采用的双筒取心钻具组合与 APP3 井相似,在此不再列出。下面只给出该井所用三筒取心钻具组合。

1) S 层三筒取心钻具组合为 $\phi 212.7$ mm 取心钻头(PMC037-8100型) $\times 0.30$ m+ $\phi 209.6$ mm 稳定器 $\times 0.50$ m+ $\phi 177.8$ mm 取心筒(Yb8100 型) $\times 8.80$ m+ $\phi 209.6$ mm 稳定器 $\times 0.50$ m+ $\phi 177.8$ mm 取心筒(Yb8100 型) $\times 8.80$ m+ $\phi 209.6$ mm 稳定器 $\times 0.50$ m+ $\phi 177.8$ mm 取心筒(Yb8100 型) $\times 8.80$ m+ $\phi 193.7$ mm 上接头 $\times 0.22$ m+ $\phi 165.1$ mm 钻铤 $\times 8$ 根+ $\phi 165.1$ mm 随钻震击器+ $\phi 127.0$ mm 加重钻杆 $\times 15$ 根+ $\phi 127.0$ mm 钻杆。树心参数:钻压 10~20 kN,排量 18.2L/s,转速 50 r/min;钻进取心参数:钻压 20~30 kN,排量 18.0~19.2 L/s,转速 50 r/min。

2) F 层三筒取心钻具组合为 $\phi 212.7$ mm 取心钻头(PMC037-8100型) $\times 0.30$ m+ $\phi 177.8$ mm 取心筒(Yb8100 型) $\times 8.80$ m+ $\phi 209.6$ mm 稳定器 $\times 0.50$ m+ $\phi 177.8$ mm 取心筒 $\times 8.80$ m+ $\phi 209.6$ mm 稳定器 $\times 0.50$ m+ $\phi 177.8$ mm 取心筒 $\times 8.80$ m+ $\phi 193.7$ mm 上接头 $\times 0.22$ m+ $\phi 165.1$ mm 钻铤 $\times 6$ 根+ $\phi 127.0$ mm 加重钻杆 $\times 14$ 根+ $\phi 165.1$ mm 随钻震击器+ $\phi 127.0$ mm 加重钻杆 $\times 6$ 根+ $\phi 127.0$ mm 钻杆。树心参数:钻压 5~10 kN,排量 14.5 L/s,转速 50 r/min,钻进取心参数:钻压 20~30 kN,排量 15 L/s,转速 50 r/min。

4 结论及建议

1) 钻进参数调整范围过大和对堵心异常情况

的误判,是 YD 油田岩心收获率不高的主要原因。取心时应严格执行取心操作规程,时刻注意钻进参数的变化,及时判断异常情况,确保岩心收获率。

2) 针对破碎性碳酸盐岩储层,采用小钻压、低转速和低排量的取心参数,在保证取心机械转速的同时,降低破碎性地层造成的卡心和堵心的概率。

3) 建议结合该地区的地层特性,开展取心工具的稳定性研究,在条件允许的情况下,尽可能采用双筒或三筒取心钻具组合,这样既可以保证岩心收获率,又可以降低钻井综合成本。

4) 建议引进具有堵心显示功能的新型取心工具,以提高岩心收获率。

参 考 文 献

References

- [1] 鲍洪志,杨顺辉,侯立中,等.伊朗 Y 油田 F 地层防卡技术[J].石油钻探技术,2013,41(3):67~72.
Bao Hongzhi, Yang Shunhui, Hou Lizhong, et al. Pipe sticking prevention measures in F Formation of Iranian Y Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(3): 67~72.
- [2] 周成贵.在取心钻进中产生磨心的原因及其预防[J].钻采工艺,1990,13(4):15~17.
Zhou Chenggui. The reasons and preventions of jamming during coring operation [J]. Drilling & Production Technology, 1990, 13(4): 15~17.
- [3] Briner A P, Azzoumi A, Chitnis R, et al. Sweet success in sour coring[R]. SPE 128007, 2010.
- [4] Khan A M, Onezime J, Mosalem D, et al. Successful coring in 8.5-in. hole section using anti-jamming technology in Southern Iraq[R]. SPE 172099, 2014.
- [5] Salman Z, Asif K, Asif K, et al. Applications of state of the art anti-jam coring system:a case study[R]. SPE 156208, 2011.
- [6] 孔志刚,于希.辽河油田古潜山储层钻井取心技术[J].石油钻探技术,2014,42(3):50~54.
Kong Zhigang, Yu Xi. Coring techniques for buried hill reservoirs in Liaohe Oilfield [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014, 42(3): 50~54.
- [7] Sino L A, Warren T M, Armacost W K, et al. Development of an antiwhirl core bit[R]. SPE 24587, 1995.
- [8] 许俊良,宋维华,任红.老油区疏松地层取心关键技术研究及现场应用[J].石油钻探技术,2012,40(5):26~29.
Xu Junliang, Song Weihua, Ren Hong. Research and field application of key coring technology for unconsolidated formation in matured oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2012, 40 (5): 26~29.
- [9] 任立伟,夏柏如,唐文泉,等.伊朗 Y 油田深部复杂地层钻井液技术[J].石油钻探技术,2013,41(4):92~96.
Ren Liwei, Xia Bairu, Tang Wenquan, et al. Drilling fluid technology for deep troublesome formation of Y Oilfield in Iran[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(4): 92~96.
- [10] 王兴武,李让,王万红.我国西部地区超深井钻井取心技术[J].天然气工业,2010,30(11):63~66.
Wang Xingwu, Li Rang, Wang WanHong. Coring technology in ultra-deep wells in West China[J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(11): 63~66.

[编辑 刘文臣]