

松南地区深井钻井提速难点与对策

穆国臣,陈晓峰,王 雪

(中国石化东北油气分公司工程技术研究院,吉林长春 130062)

摘 要:松辽盆地南部地区深部地层是中国石化东北油气分公司勘探开发工作的重点,但该地区深层碎屑岩、火山岩地层可钻性差,可钻性级值达到 8~10 级,平均机械钻速低,单只钻头进尺少,钻井周期长,超过 4 000 m 的深井钻井周期在 6 个月左右。同时存在碎屑岩地层井壁易失稳、火山岩地层易发生裂缝性漏失、硬夹层较多且部分井段含有砾岩导致断钻具事故频繁、CO₂ 污染钻井液等技术难点。针对这些技术难点,提出了优化井身结构、针对不同地层特点优选钻头、应用旋冲钻井技术等技术对策。现场实践表明,松南地区采取这些技术对策和措施后,提高了钻井速度,缩短了钻井周期,漏失得到控制。

关键词:深井钻井 钻井速度 井身结构 PDC 钻头 牙轮钻头 旋冲钻井 松南地区

中图分类号:TE245 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0890(2011)06-0019-04

Difficulties and Applied Technical Strategy in Deep Well Drilling in Songnan Area

Mu Guochen, Chen Xiaofeng, Wang Xue

(Engineering Technology Research Institute, Sinopec Northeast Oil and Gas Branch, Changchun, Jilin 130062, China)

Abstract: Deep reservoir in southern region of Songliao Basin is the main exploration and development target of Northeast Branch of Sinopec, while there are a lot of challenges, such as poor drillability of 8~10 in clastic and volcanic rocks, the low rate of penetration, single bit's small drill footage, long drilling cycle of about 6 months for a 4 000 m well. In addition, there also exist other problems, such as, wellbore instability in clastic formations, drilling fluid loss in volcanic formation, drilling tools broken in thin gravel layers, and drilling fluid pollution caused by CO₂. In order to solve those problems, a suite of drilling techniques were used, such as casing optimization, drill bit selection for different formations, rotating and percussive drilling techniques. Field applications indicate that those techniques increased drilling speed, reduced drilling cycle and controlled drilling mud loss in Songnan Area.

Key words: deep well drilling; drilling speed; casing program; PDC bit; roller bit; rotating and percussive drilling; Songnan Area

近年来,松南地区的勘探开发工作逐步向深层发展。截至 2010 年底,已完钻 4 000~5 000 m 深井 17 口。腰深 1 井、腰深 2 井、梨深 1 井等多口井获良好油气显示,其中腰深 1 井试气获天然气无阻流量 $31.45 \times 10^4 \text{ m}^3$,发现了松南气田,展现出松南地区深部地层良好的勘探开发前景。然而,泉头组、登娄库组碎屑岩地层以及营城组火山岩地层可钻性差,平均机械钻速低、单只钻头进尺少,且存在钻井液漏失、蹩跳钻严重、CO₂ 污染钻井液等复杂情况,

井深 4 500 m 左右的深井,平均钻井周期长达 186 d。因此,对制约松南地区深井提速的技术难点进行系统分析和总结,并研究、探讨了相应的技术对策,对提高该地区钻井速度,缩短钻井周期,加快勘探开发

收稿日期:2011-03-11;**改回日期:**2011-08-26。

作者简介:穆国臣(1979—),男,吉林长春人,2003 年毕业于石油大学(北京)石油工程专业,工程师,主要从事钻井工艺技术与设计工作。

联系方式:(0431)88531827, guochenmu@sina.com。

步伐,具有重要意义。

1 技术难点分析

1.1 地层可钻性差

松南地区深层钻探主要钻遇地层为:第四系,第三系泰康组,白垩系上统明水组、嫩江组、姚家组和青山口组,白垩系下统泉头组、登娄库组和营城组。其中白垩系下统泉头组、登娄库组碎屑岩地层和营

城组火山岩地层可钻性极差,泉头组和登娄库组碎屑岩地层牙轮钻头可钻性为 6~7 级,PDC 钻头可钻性达到 10 级以上,营城组火山岩地层牙轮钻头和 PDC 钻头可钻性均达到 10 级以上(见表 1)。泉头组和登娄库组部分地层含砾岩,蹩跳钻严重,营城组火山岩流纹岩、角砾岩等对钻头磨损破坏极大,采用江汉石油钻头股份有限公司(以下简称江钻)HJT5—7 系牙轮钻头,机械钻速低、单只进尺少(见表 2),起下钻频繁。

表 1 松南地区部分深井可钻性统计
Table 1 Drillability statistics of deep wells in Songnan area

井名	地层	井段/m	可钻性			
			牙轮钻头		PDC 钻头	
			级值	等级	级值	等级
腰深 101 井	泉头组	3 343.27~3 349.12	6.91	6	10.78	10
腰深 202 井	登娄库组	3 709.00~3 711.90	7.97	7	>10.00	10
		3 534.31~3 539.25	7.93	7	>10.00	10
腰深 101 井	营城组	3 646.72~3 655.01	>10.00	10	>10.00	10
		3 838.38~3 840.69	>10.00	10	>10.00	10
新深 1 井	营城组	3 529.20~3 534.20	11.16	10	>10.00	10

表 2 江钻牙轮钻头应用情况统计

地层	钻头系列	平均机械钻速/m·h ⁻¹	平均单只进尺/m
泉头组	HJT5—6 系	1.07	98.07
登娄库组	HJT5—6 系	0.88	76.67
营城组	HJT6—7 系	1.35	47.35

1.2 井壁稳定性差,井身结构优化困难

松南地区深井皆采用三开井身结构,一开采用 $\phi 444.5$ mm 钻头,下入 $\phi 339.7$ mm 套管;二开采用 $\phi 311.1$ mm 钻头,下入 $\phi 244.5$ mm 套管;三开采用 $\phi 215.9$ mm 钻头,下入 $\phi 139.7$ mm 套管。为有效保护储层,在下部目的层段多采用欠平衡钻进方式,钻井液密度较低。而上部登娄库组地层的岩性主要为碎屑岩,泥质含量较高,水敏性强,吸水膨胀后,易发生坍塌、掉块,造成井壁失稳^[1-2]。腰深 202 井钻至井深 3 709.00 m 进行取心作业,取心工具下至井深 3 405.00 m 遇阻,反复通井 2 次,损失时间 3.83 d。为保证欠平衡井段安全施工,只能将技术套管下至登娄库组底井深 4 000 m 左右,将登娄库组及以上地层全部封固,二开 $\phi 311.1$ mm 井眼段较长,进一步降低了钻井速度。

1.3 地层承压能力低,易发生井漏

青山口组地层易发生渗透性漏失,漏失速度一

般小于 10 m³/h;营城组火山岩地层裂隙发育,易发生裂缝性漏失,漏失速度可达 20~30 m³/h^[2]。其中腰平 9 井营城组漏失钻井液 417 m³,堵漏耗时 130.5 h。由于地层承压能力低,固井前承压堵漏试验基本都以失败告终,多数井只能强行固井,严重影响了固井质量。

1.4 蹩跳钻严重,易发生断钻具事故

青山口组、泉头组和登娄库组地层硬夹层较多,且部分井段含有砾岩,营城组地层含有大量火山角砾岩,钻具蹩跳钻严重,断钻具频繁,处理断钻具事故损失大量时间(见表 3)。

表 3 断钻具事故情况统计
Table 3 Statistics of drilling pipe broken

井名	井深/m	层位	断钻具	损失时间/h
新深 1 井	2 417.00	泉三段	钻铤	13.50
	3 051.00	登娄库组	钻铤	87.00
	3 937.00	营城组	钻杆	29.67
腰深 1 井	2 481.00	泉四段	加重钻杆	22.63
	2 925.00	泉二段	加重钻杆	43.92
腰深 3 井	1 806.00	青山口组	钻铤	13.50
	1 894.00	青山口组	加重钻杆	31.50
腰深 4 井	3 195.00	泉二段	钻铤	146.00
腰深 102 井	3 527.00	登娄库组	钻铤	15.00

1.5 天然气组分中含 CO₂, 易发生 CO₂ 气侵

松南地区主要目的层为营城组火山岩气藏, 已完井试气发现天然气组分中皆含有 CO₂, 其中腰深 1 井、腰深 2 井 CO₂ 体积分数较高, 达到 20% 以上。位于腰深 1 井区的腰深 102 井取心钻至井深 3 276.00~3 278.00 m 时发生 CO₂ 气侵, 钻井液遭受污染, CO₂ 体积分数最高达到 20%, 对钻井液性能造成严重影响, 钻井液密度由 1.29 kg/L 降至 1.21 kg/L, 黏度下降, 滤失量增大。3 278.00~3 403.00 m 井段共起钻 5 次, 每次下钻到底测后效均有 CO₂ 污染现象存在。

2 技术对策与应用效果

2.1 井身结构优化

松南地区深井皆采用三开井身结构, 一开采

用 $\phi 444.5$ mm 钻头, $\phi 339.7$ mm 套管下至四方台组顶部, 封固上部松散地层; 二开采用 $\phi 311.1$ mm 钻头, $\phi 244.5$ mm 套管下至登娄库组底部, 封固上部易坍塌地层, 为三开欠平衡安全施工创造条件; 三开采用 $\phi 215.9$ mm 钻头, 下入 $\phi 139.7$ mm 套管。由于在下部营城组地层实施欠平衡钻井, 上部登娄库组井壁易坍塌, 受此限制, 技术套管下深优化困难。因此, 井身结构优化主要从井眼尺寸方面着手, 在保证实现地质目的和满足后期作业要求的前提下, 适当缩小井眼尺寸, 减小钻头破岩体积, 提高钻井速度^[3-4]。通过调研分析, 结合该地区实际情况, 最后确定采用以下井身结构: 一开采用 $\phi 346.1$ mm 钻头, 下入 $\phi 273.1$ mm 套管; 二开采用 $\phi 241.3$ mm 钻头, 下入 $\phi 193.7$ mm 套管; 三开采用 $\phi 165.1$ mm 钻头, 下入 $\phi 127.0$ mm 套管。该井身结构在腰深 9 井首次试验应用, 与邻井相比, 钻井周期大幅缩短(见表 4)。

表 4 井身结构优化前后周期对比

Table 4 The comparison of drilling cycle before and after casing program optimization

井名	钻头尺寸/mm			完钻井深/m	钻井周期/d
	一开	二开	三开		
腰深 6 井	444.5	311.1	215.9	4 330.00	175.19
腰深 3 井	444.5	311.1	215.9	4 400.00	186.35
腰深 201 井	444.5	311.1	215.9	4 500.00	196.40
腰深 9 井	346.1	241.3	165.1	4 465.00	159.06

2.2 优化钻头选型

2.2.1 碎屑岩地层高效 PDC 钻头优选

针对松南地区深部地层可钻性级值高、地层研磨性强等特点, 进行钻头优选时, 既要保证钻头牙齿对地层的有效切削, 提高机械钻速, 又要保证牙齿及保径的强度, 延长钻头使用寿命。在不改变钻井方式的情况下, 用 PDC 钻头替代牙轮钻头是提高机械钻速的最有效手段^[4-7]。PDC 钻头主要是依靠较高转速下牙齿对地层的剪切作用进行破岩, 要求其牙齿具有更高的抗研磨性, 在硬地层中尤其如此。PDC 钻头牙齿的抗研磨性主要取决于金刚石复合片的质量及布齿的合理化设计^[7]。通过大量试验研究, 对百施特、贝克休斯、瑞德等厂家的钻头进行了筛选, 并根据松南地区碎屑岩地层特点, 针对试验中出现的问题对钻头进行了进一步优化设计, 形成了适合于松南地区碎屑岩地层的高效 PDC 钻头。现场应用结果表明, 机械钻速比牙轮钻头提高 42.7%, 单只钻头进尺达到牙轮钻头的 5~6 倍。

2.2.2 火山岩地层高效牙轮钻头优选

松南地区火山岩地层可钻性极差, 牙轮钻头可钻性级值达到 10 级以上, 且含有大量火山角砾岩, 蹩跳钻严重, 因此要求钻头牙齿及保径材料具有较高的耐磨性和抗冲击能力, 保证钻头具有较好的稳定性, 从而提高机械钻速, 延长钻头的使用寿命^[8]。通过与江钻、贝克休斯国内外众多厂家合作, 经过大量的试验和筛选, 优选出了适合于松南地区火山岩地层的高效牙轮钻头。现场应用表明, 优选牙轮钻头的机械钻速比常规牙轮钻头提高 17.6%, 单只钻头进尺达到常规牙轮钻头的 2~3 倍, 单只钻头的综合成本与常规牙轮钻头基本相同。

2.3 应用旋冲钻井技术

为提高机械钻速, 在腰深 7 井营城组 3 557.20~3 624.20 m 井段试验应用了旋冲钻井技术。采用中国石化石油工程技术研究院研制的 $\phi 177.8$ mm 液

力冲击器,冲击频率为 16~20 次/s,钻具组合为:
φ215.9 mmHJT637GL 钻头+φ177.8 mm 液力冲击器
+箭型止回阀+φ158.8 mm 钻铤×23 根+φ127.0 mm

加重钻杆×3 根+φ127.0 mm 钻杆。旋冲钻井技术
在该井提速效果非常明显,机械钻速为液力冲击器
下入之前的 1.2~2.0 倍(见表 5)。

表 5 旋冲钻井技术在腰深 7 井的应用情况
Table 5 Application of rotating and percussive drilling technique in Well Yaoshen 7

序号	钻井方式	型号	井段/m	总进尺/m	纯钻时间/h	机械钻速/m·h ⁻¹
1	常规钻井	HJT637GL	3 348.90~3 479.00	30.08	32.17	0.94
2	常规钻井	HJT637GL	3 479.00~3 504.70	25.73	38.67	0.67
3	常规钻井	HJT737GH	3 542.10~3 557.20	15.10	39.50	0.38
4	旋冲钻井	HJT637GL	3 557.20~3 589.20	32.72	28.21	1.16
5	旋冲钻井	HJT637GL	3 589.90~3 624.10	34.15	29.59	1.15

2.4 其他技术措施

1) 钻具组合采用双减震器组合,避免了使用单
减震器时钻具与减震器的共震现象,有效吸收蹩跳钻
能量,减缓钻具疲劳。腰深 6 井、腰深 7 井和腰深 9
井等井应用了双减震器组合,皆未出现断钻具事故。

2) 二开推广应用聚磺防塌钻井液,采用无水聚
合醇、磺化褐煤、磺化酚醛树脂等防塌降滤失剂,严
格控制钻井液滤失量,适时调整钻井液密度,维持井
壁的力学平衡。

3) 钻至易漏失层位前,及时加入随钻堵漏剂,
尽可能采用低密度钻井液小排量钻进,一旦发生井
漏,起钻至套管鞋内采用可酸化复合堵漏剂进行静
止漏堵,如漏失速度大于 30 m³/h,堵漏施工后进行
承压试验。

4) 钻进目的层时钻井液的 pH 值保持在 10 左
右,现场储备足够的 CaO,一旦发生 CO₂ 气侵,采用
石灰水和 NaOH,中和 CO₂,恢复钻井液的流变性和
自然脱气能力。

3 结论和建议

1) 采用小尺寸井身结构可减小钻头的破岩体
积,有效提高机械钻速,应进一步优化钻井参数,配
套合适的工具提高钻井速度。

2) 在松南深部碎屑岩地层应用高效 PDC 钻头
是可行的,应继续推广应用,并在此基础之上,探索螺
杆钻具、涡轮钻具和扭力冲击器等配套工具的适应性。

3) 高效牙轮钻头在火山岩地层取得了较好的
效果,可进一步推广,并优化机械参数和水力参数,
尽量延长钻头寿命,降低综合成本。

4) 液力冲击器在腰深 7 井提速效果明显,建议
与高效牙轮钻头配套使用,探索两者相结合的优势,
进而形成配套技术。

参 考 文 献
References

[1] 陈安明,张进双,白彬珍,等. 松辽盆地深井钻井技术难点与对策[J]. 石油钻探技术,2011,39(4):119-122.
Chen Anming, Zhang Jinshuang, Bai Binzhen, et al. The drilling problem and countermeasure of deep wells in Songliao Basin [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(4): 119-122.

[2] 李艳军,张立功. 大庆油田深层气藏水平井钻井技术[J]. 石油钻探技术,2009,37(6):44-47.
Li Yanjun, Zhang Ligong. Deep horizontal gas well drilling technology used in Daqing Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(6): 44-47.

[3] 冯月江. 火成岩油藏钻井完井技术探讨[J]. 石油钻探技术, 1998,26(4):40-41.
Feng Yuejiang. Drilling and completion techniques in igneous rock reservoirs[J]. Petroleum Drilling Techniques, 1998, 26(4): 40-41.

[4] 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.

[5] 刘天科. 东营凹陷中央隆起带北部深层钻井技术难点与对策[J]. 石油钻探技术,2011,39(3):77-80.
Liu Tianke. Difficulties and countermeasures of deep drilling technology in north central uplift of Dongying Sag[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(3): 77-80.

[6] 董明键,肖新磊,边培明. 复合钻井技术在元坝地区陆相地层中的应用[J]. 石油钻探技术,2010,38(4):38-40.
Dong Mingjian, Xiao Xinlei, Bian Peiming. Application of air drilling technique in Yuanba Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(4): 38-40.

[7] 薄和秋,苏锦正,海罗·史莱斯塔. 济阳拗陷深部地层 PDC 钻头优化设计与应用[J]. 石油钻探技术,2011,39(3):57-61.
Bo Heqiu, Sue Jiinjen, Sreshta H. Optimization and application of PDC bit in Jiyang deep depression formation[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(3): 57-61.

[8] 杨明合,夏宏南,蒋宏伟,等. 火山岩地层优快钻井技术[J]. 石油钻探技术,2009,37(6):44-47.
Yang Minghe, Xia Hongnan, Jiang Hongwei, et al. Optimized drilling techniques to increase drilling speed in volcanic formations[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(6): 44-47.