

# 大庆海拉尔油田钻井提速难点与对策

李 杉, 云海涛

(中国石油大庆油田有限责任公司采油工程研究院, 黑龙江大庆 163453)

**摘 要:**大庆海拉尔油田地层倾角大、断层多、研磨性强、可钻性差,存在钻井速度低、防斜打快矛盾突出、钻井周期长等问题,严重影响了海拉尔油田勘探开发进程。为了提高海拉尔油田钻井速度,缩短钻井周期,针对海拉尔地区的地质特征,开展了提速配套技术攻关。通过统计海拉尔油田已钻井资料和分析地层的特殊地质特征,找出了影响该油田钻井速度提高的主要因素,在井身结构优化设计、优选钻头、强化钻进参数、采用复合钻井技术、应用垂直钻井工具等方面进行了深入分析和研究,制定了合理的技术措施,并进行了现场试验,钻井速度提高 26% 以上,钻井周期缩短 23% 以上。这表明海拉尔油田钻井提速配套工艺技术对于该油田的高效开发具有重要意义,但还需加强高效钻头和高性能动力钻具的研制与引进,以及钻井新技术的应用,以进一步提高钻井速度。

**关键词:**钻井速度 机械钻速 井身结构 海拉尔油田

**中图分类号:**TE242 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0890(2012)05-0059-04

## Difficulties and Measures for Improving ROP in Hailar Oilfield of Daqing

Li Shan, Yun Haitao

(Research Institute of Oil Production Engineering, Daqing Oilfield Co. Ltd., PetroChina, Daqing, Heilongjiang, 163453, China)

**Abstract:** Due to high dip angle, rich faults, high-abrasive and poor drillability of formation, problems such as low ROP, conflict between deviation prevention and fast drilling, and long drilling cycle occurred during drilling in Hailar Oilfield of Daqing, hindering the progress of exploration and development. To raise ROP and shorten drilling cycle, in view of geologic feature analysis in Hailar Oilfield, improving ROP matching techniques was studied. The main factors blocking the improvement of ROP were determined through historical wells statistics and geologic feature analysis in Hailar Oilfield. In-depth analysis and study of casing program optimization design, well site test of selected drill bits, drilling parameter optimization, compound drilling technology, and vertical drilling techniques had been conducted to find out proper technique measures for the problem mentioned above. Field test of these measures showed the ROP rose by more than 26 percent, drilling cycle shortened by more than 23 percent. Opinions and suggestions are given for the future well drilling in Hailar Oilfield.

**Key words:** penetration rate; casing program; Hailar Oilfield

海拉尔油田是大庆油田外围开发的重点区块,经过多年实践,已形成了一套适合海拉尔地区的钻井工艺技术,但由于该地区地层倾角较大,大磨拐河组至南 1 段地层多含砾石、砾岩层,下部以高含凝灰质火山岩为主,研磨性强,可钻性差<sup>[1]</sup>,存在钻头使用效果差、井身质量控制困难、钻井速度低等问题。海拉尔油田已钻的 40 口井平均井深 2 230

m,平均机械钻速 5.10 m/h,与地质条件相近的大庆长垣西部相比降低了 50%。采用常规的塔式钻

**收稿日期:**2011-12-20;**改回日期:**2012-08-12。

**作者简介:**李杉(1960—),男,黑龙江桦南人,1981年毕业于大庆石油学院钻井工程专业,高级工程师,采油工程研究院副总工程师,现主要从事钻井设计及科研工作。

**联系方式:**(0459)5962230,lishan1@petrochina.com.cn。

具、钟摆钻具和满眼钻具等防斜钻具组合难以满足井身质量的要求<sup>[2-4]</sup>,统计海拉尔油田 21 口井的钻井情况,其中 20 口井进行了纠斜,共纠斜 47 井次,严重影响了该油田钻井速度的提高。因此,深入分析海拉尔油田钻井施工中存在的问题,找到解决问题的途径,对于提高该油田的钻井速度,加快该油田的勘探开发步伐意义重大。

## 1 影响机械钻速的主要因素

1) 大磨拐河组至南 1 段地层多含砾石、砾岩层,PDC 钻头使用受限,下部地层研磨性强,钻头磨损严重,南屯组以下地层的可钻性级值达到 7 级,抗剪强度达到 60 MPa,硬度达到 4 000 MPa<sup>[5]</sup>。

2) 地层倾角大,防斜打快矛盾突出。海拉尔油田地层倾角多为 8°~20°,个别层段地层倾角达到 30°以上(见表 1)。大磨拐河组和南屯组地层岩性变化大,存在不等厚互层,且地层可钻性相差悬殊,

软硬交错,变化频繁,钻进时易引起井斜。同时,海拉尔油田地质构造复杂,断层多,在断层的破碎带钻进时,由于破碎带岩石疏松,钻头工作状态不稳定,也容易导致井斜。

3) 钻井参数及井身结构有待优化。多年来,海拉尔油田全井段钻压 120~160 kN,转速 117~135 r/min,机械能量没有得到充分发挥,破岩效率低。井身结构一直是三层套管结构,考虑地层压力剖面及管柱强度,有进一步优化的空间。

4) 钻井方式单一。海拉尔油田钻井一直采用转盘驱动钻井方式,而大庆徐深气田成功应用井下动力钻具表明,复合钻井技术可大幅度提高钻速,缩短钻进周期。

5) 钻具组合防斜能力差。为满足井身质量要求,海拉尔油田采用了钟摆钻具、满眼钻具、偏重钻具、偏轴防斜钻具等钻具组合,但都无法有效控制井斜,被迫起钻换弯螺杆钻具纠斜,影响了机械钻速的提高。

表 1 部分井地层倾角及完钻测井井斜数据

Table 1 The part data of angle of bedding and inclination

井名	层位	井段/m	倾角/(°)	倾向	最大井斜角/(°)	井深/m	方位角/(°)
德 8 井	南 1 段	2 239.0~2 575.6	16~20	S	4.62	2 500	7
	铜钵庙	2 575.6~2 720.0	26	S			
乌 16 井	大 1 段	2 150.0~2 258.0	8~20	SE	4.75	2 125	270
	南 2 段	2 258.0~2 336.0	20	SE			
乌 17 井	大 1 段	2 126.0~2 425.0	19	NE	8.62	2 175	189
	布达特	1 591.0~1 703.0	16~31	NW			

## 2 主要技术对策及效果

### 2.1 井身结构优化

在保证钻井施工安全和质量,及满足勘探开发要求的情况下,充分利用已钻井数据,并根据地层压力预测,对井身结构进行优化<sup>[6-8]</sup>。一是减少套管层次:分析地层压力和地层坍塌压力,将套管层次由三层套管改为二层套管,即表层+生产套管,减少了  $\phi 339.7$  mm 套管。二是减少表层或技术套管的下入深度:在保证井控要求和不发生井壁坍塌的情况下,减小部分井的表层或技术套管下深,平均减小 40 m。三是优化表层套管外径、钢级:按区块进行外径、钢级的优化设计,表层套管外径由原来的  $\phi 339.7$  mm 优化为  $\phi 244.5$  mm 或  $\phi 273.1$  mm,钢级由原来的 J55 优化为 H40。通过优化,可减少表层

套管用量,提高钻井速度,节约钢材和水泥,减少岩屑排放。

### 2.2 钻头优选试验

根据海拉尔油田岩石可钻性剖面及构造倾角特征,进行钻头优选试验,在希 47-65 井等 6 口井使用四翼 PDC 钻头和五翼 PDC 钻头。在南 1 段以上地层使用四翼 PDC 钻头有利于快速钻进,单只钻头进尺可达 2 000 m 以上,平均机械钻速 30.51 m/h,在高陡地层防斜较差;五翼 PDC 钻头刀翼受力均匀,有利于高陡地层防斜。优选后,PDC 钻头进尺增加 31.5%,机械钻速提高 53.2%。在贝 49-55 井等 5 口井上试验了 12 种牙轮钻头,进尺增加 11.7%,机械钻速提高 15.8%。机械钻速分层对比提高效果见表 2。通过钻头优选,简化了钻头序列;南 2 段以上地层采用  $\phi 220$  mm 四刀翼 PDC 钻头,南 2 段至南 1 段地层

采用  $\phi 215.9$  mm 五刀翼 PDC 钻头,南 1 段以下地层采用  $\phi 215.9$  mm SMD 和 HJT 型牙轮钻头。

表 2 海拉尔油田优选钻头分层提速效果统计  
Table 2 Improving ROP in different formations by optimizing bit in Hailar Oilfield

地 层	机械钻速/( $\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$ )		钻速提高率, %
	优选前	优选后	
伊敏组	39.40	49.15	24.70
大磨拐河组	14.35	16.25	13.24
南屯组	6.69	7.09	5.98
铜钵庙组	4.16	5.43	30.53

2.3 强化钻进参数

为了进一步提高钻速,在优化井身结构和优选钻头的同时,分别在上部地层和下部地层开展了强化钻进参数试验。钻进上部地层时,将转盘转速由原来的 117~135 r/min 提高到 175~205 r/min,钻压由原来的 120~140 kN 提高到 160~180 kN,通过强化钻进参数机械钻速提高 35.04%。钻进下部地层时,钻压由原来的 160 kN 提高到 220 kN,机械钻速提高了 42.78%。

2.4 采用复合钻井技术

转盘钻井方式受转盘转速限制,钻速提高受到一定限制。通过开展复合钻井技术试验,探索出提高南屯组及以下地层钻井速度的有效手段。复合钻井与转盘钻井相比,主要区别在于转速的不同。当钻压一定、转盘转速相同时,复合钻井时下部有动力钻具,转速增加,钻速得到提高。

海拉尔油田先后试验了 3 套钻具组合进行复合钻井。通过分析现场数据,确定“钻头+双螺旋稳定

器+螺杆+钻铤+钻杆”的钻具组合,该钻具组合具有稳斜效果较好、起下钻遇阻卡少的优点。现场施工中上部井段尽可能采用大排量循环,以保证高钻速下的携砂效果和井眼清洁;进入大 2 段易斜井段后,井斜角小时采用复合钻进,井斜角大时采用滑动纠斜钻进;进入南 2 段后,采用塔式钻具组合和 SMD 系列钻头,钻压加大到 100~120 kN,在控制井斜的同时,保证了较高的钻速。复合钻井试验累计进尺 11 502.13 m,平均机械钻速 11.23 m/h;开发井二开全面推广复合钻井技术,平均机械钻速达到了 19.25 m/h。

2.5 应用垂直钻井工具

近年来,国内外各大石油公司都研究开发了垂直钻井技术,在高陡构造、大倾角地层等易斜地层钻进时,能有效解决防斜和加大钻压之间的矛盾,大幅度提高钻井速度,在充分强化钻压的情况下可以保证井斜角控制在  $1^\circ$  以内<sup>[9-13]</sup>。其中,自动垂直钻井系统带有井下闭环控制系统,可实现井下主动纠斜、保持井眼垂直,其特点是:1)解放钻压,有利于提高钻井速度;2)全旋转钻进,保证井眼光滑;3)可人工调侧向力,实现主动防斜;4)减少套管磨损和后续井段的摩阻。

海拉尔油田地层倾角大,井斜控制十分困难。施工中普遍采用降压吊打防斜,严重影响了钻井速度,采用常规的塔式钻具组合、钟摆钻具组合、满眼钻具组合等防斜钻具组合难以满足井身质量的要求。为此,5 口井应用了 VertiTrak 垂直钻井系统,应用效果见表 3。从表 3 可以看出,VertiTrak 垂直钻井系统具有良好的降斜能力,在作业井段都能够将井斜控制在设计要求范围内。

表 3 VertiTrak 垂直钻井工具应用效果统计  
Table 3 The data of application of VertiTrak vertical drilling tool

井名	钻进井段/m	进尺/m	地层	钻压/kN	井斜变化/( $^\circ$ )	平均机械钻速/( $\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$ )
乌 32-1 井	2 659~2 781	122	南屯组	160	6.76~0.20	3.78
希 44-58 井	2 112~2 531	419	南屯组	80	4.17~0.07	12.05
乌 34-1 井	2 026~2 634	608	大磨拐组	80	4.66~0.35	9.30
苏 47 井	1 278~1 407	129	大磨拐组	120	3.39~0.16	6.54
楚 5 井	1 769~2 018	249	南屯组	160	3.47~0.60	7.77

同样,VertiTrak 垂直钻井系统在提高机械钻速方面表现良好。在降斜钻进过程中机械钻速要比普通动力钻具正常钻进的机械钻速高 60% 以上,降斜、提速效果明显。未使用垂直系统机械钻速与使用 VertiTrak 垂直钻井系统机械钻速对比见表 4。

2.6 钻井提速效果

通过优化井身结构、优选钻头及钻井参数、采用复合钻井、应用垂直钻井工具,形成了一套海拉尔油田钻井提速配套技术,取得了较好的钻井提速效果。

表4 海拉尔油田 VertiTrak 垂直钻井系统机械钻速对比

Table 4 The contrast of drilling speed between vertical drilling and conventional drilling

井 名	机械钻速/(m·h <sup>-1</sup> )		钻速提高率, %
	常规钻井	垂直钻井	
乌 32-1井	2.85	3.78	32.6
希 44-58 井	8.50	12.05	41.8
乌 34-1井	4.85	9.30	91.8
苏 47 井	4.50	6.54	45.3
楚 5 井	2.58	7.77	201.1

机械钻速大幅度提高:探井、评价井平均机械钻速由原来的 6.97 m/h 提高到 9.31 m/h,提高了 33.57%;开发井平均机械钻速由原来的 12.79 m/h 提高到 16.12 m/h,提高了 26.04%。探井、评价井建井周期由原来的 44.77 d 缩短到 32.80 d,缩短了 26.79%,开发井建井周期由原来的 24.55 d 缩短到 18.90 d,缩短了 23.01%。

### 3 结论及建议

1) 经过分析大庆海拉尔油田已钻井的地质特征和工程施工,得到了该地区钻井机械钻速低、钻井周期长的主要影响因素,为制定相应的提速措施奠定了基础。

2) 在大庆海拉尔油田综合应用优化井身结构、优选钻头及钻井参数、复合钻井、垂直钻井等主要提速技术及措施,形成了一套钻井提速配套工艺技术,经现场验证提速效果较好。

3) 海拉尔油田的机械钻速还有提高的空间,建议研发适合海拉尔油田的高效钻头与高性能动力钻具,同时开展涡轮钻井、旋冲钻井及欠平衡钻井等新技术在该地区的应用研究。

4) 自动垂直钻井技术降斜、提速效果较好,但成本较高,需进一步开展自动垂直钻井技术经济性分析,以充分发挥防斜、提速方面的优势,同时应加快国产垂直钻井工具的研发和试验工作。

### 参 考 文 献

#### References

- [1] 刘希圣. 钻井工艺原理:上册[M]. 北京:石油工业出版社, 1988.  
Liu Xisheng. Principles of drilling technology:part I [M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 1988.
- [2] 陈嘉玉. 提高海拉尔地区钻井速度技术研究[D]. 大庆:大庆石油学院, 2007.  
Chen Jiayu. Technology research for improving drilling speed in

- Hailaer Oilfield[D]. Daqing:Daqing Petroleum Institute, 2007.
- [3] 钟卫,赵怀德,李建山. 提高川西地区中深井及深井钻井效率探讨[J]. 石油钻探技术, 2004, 32(6):16-18.  
Zhong Wei, Zhao Huaide, Li Jianshan. How to improve the efficiency while drilling moderate-deep and deep wells in the Western Sichuan Area [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2004, 32(6):16-18.
- [4] 刘汝山,曾义金. 复杂条件下钻井技术难点及对策 [M]. 北京:中国石化出版社, 2005:5-7.  
Liu Rushan, Zeng Yijin. Difficulties and countermeasures of drilling under complicated conditions[M]. Beijing: China Petrochemical Industry Press, 2005:5-7.
- [5] 刘白雁,陈新元,谢剑刚,等. 自动垂直钻井工具的理论与技术研究 [J]. 武汉科技大学学报:自然科学版, 2008, 31(1):6-10.  
Liu Baiyan, Chen Xinyuan, Xie Jiangang, et al. Theoretical and technical investigation of automatic vertical drilling tools[J]. Journal of Wuhan University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2008, 31(1):6-10.
- [6] 陈庭根,管志川. 钻井工程理论与技术[M]. 东营:石油大学出版社, 2002:35-36.  
Chen Tinggen, Guan Zhichuan. Theories and techniques of drilling engineering [M]. Dongying: Petroleum University Press, 2002:35-36.
- [7] 李士斌,阎铁,韩辉,等. 模拟井底应力条件下的岩石可钻性实验研究[J]. 天然气工业, 2003, 23(2):64-66.  
Li Shibin, Yan Tie, Han Hui, et al. Drillability test study under modeling conditions of bottom hole stress[J]. Natural Gas Industry, 2003, 23(2):64-66.
- [8] 李杰,翟芳芳,袁骥骥. 贝克休斯垂直钻井系统在大湾 1 井的应用[J]. 天然气技术, 2009, 3(6):29-30.  
Li Jie, Zhai Fangfang, Yuan Qiji. Application of Baker Hughes vertical drilling system in Dawan Well 1 [J]. Natural Gas Technology, 2009, 3(6):29-30.
- [9] 郑峰辉,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):5-11.  
Zheng Fenghui, Han Laiju, Yang Li, et al. Development of novel drilling technology [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(4):5-11.
- [10] 薄和秋,赵永强. VertiTrak 垂直钻井系统在川科 1 井中的应用[J]. 石油钻探技术, 2008, 36(2):18-21.  
Bo Heqiu, Zhao Yongqiang. Application of VertiTrak in Chuankel-1 Well[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(2):18-21.
- [11] 杨玉坤. 川东北地区深井井身结构优化设计[J]. 石油钻探技术, 2008, 36(3):33-36.  
Yang Yukun. Deep well casing structure optimization in Northeast Sichuan Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(3):33-36.
- [12] 杨宇平,金波,蒋欢,等. 快速钻井液技术在海拉尔盆地的应用研究[J]. 石油机械, 2011, 39(6):12-14.  
Yang Yuping, Jin Bo, Jiang Huan, et al. The research and application of the fast drilling fluid technology in Hailaer Basin [J]. China Petroleum Machinery, 2011, 39(6):12-14.
- [13] 高航献,瞿佳,曾鹏琿. 元坝地区钻井提速探索与实践[J]. 石油钻探技术, 2010, 38(4):26-29.  
Gao Hangxian, Qu Jia, Zeng Penghui. Research and practice to improve drilling speed in Yuanba Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(4):26-29.