

文章编号:1001-6112(2012)S1-0112-05

# 塔河油田深部地层提高钻井速度配套技术

张俊<sup>1</sup>,汪霞<sup>2</sup>,苏秋生<sup>3</sup>

(1. 中国石化西北油田分公司工程技术研究院,乌鲁木齐 830011; 2. 中国石化西北油田分公司勘探开发研究院,乌鲁木齐 830011; 3. 中国石化中原石油勘探局塔里木钻井公司,新疆库尔勒 841000)

**摘要:**塔河油田位于塔里木盆地北部沙雅隆起阿克库勒凸起的西南部,其主要储层为奥陶系碳酸盐岩,埋深在5 600~7 000 m之间,是全国埋藏最深的油田之一。具有地层层序多、跨度大,地层岩性变化大,多压力系统,岩性复杂,储层非均质性强等特点。目前钻井面临的突出问题是机械钻速低、施工周期长。为进一步加快塔河油田深井勘探开发的步伐,需提高机械破岩能量,提高深部可钻性较差地层的机械钻速。通过近几年的研究攻关和实践,通过对井身结构的优化、采用高压喷射钻井、涡轮钻井、扭力冲击器等技术,显著提高了塔河油田奥陶系碳酸盐岩深部地层的机械钻速。

**关键词:**高压喷射;涡轮;扭力冲击器;机械钻速;深部地层;塔河油田

中图分类号:TE24

文献标识码:A

## Supporting techniques to improve drilling speed in deep stratum, Tahe Oil Field

Zhang Jun<sup>1</sup>, Wang Xia<sup>2</sup>, Su Qiusheng<sup>3</sup>

(1. *Research Institute of Engineering Technology, SINOPEC Northwest Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China;*  
2. *Research Institute of Petroleum Exploration & Production, SINOPEC Northwest Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China;*  
3. *Tarim Drilling Company, Zhongyuan Petroleum Exploration Bureau, SINOPEC, Korla, Xinjiang 841000, China*)

**Abstract:** The Tahe Oil Field locates in the southwest of the Akekule Arch of the Shaya Uplift of the northern Tarim Basin. The Ordovician carbonate rocks work as the main reservoir. They are buried 5 600–7 000 m deep, one of the deepest in China. The oil field is characterized by more stratigraphic sequences, various lithologies, multiple pressure systems, complex lithologies and strong reservoir heterogeneity, etc. Currently, the outstanding problems about drilling are low ROP and long construction period. In order to further accelerate the pace of deep well exploration and development in the Tahe Oil Field, mechanical rock breaking energy and the ROP of poor drill-ability stratum should be improved. The ROP of the Tahe Oil Field Ordovician carbonate rocks in the deep stratum has been significantly improved through the optimization of the structure of well bore, high pressure jet drilling, turbine drilling and torque impulse generator in recent years through research and practice.

**Key words:** high-pressure injection; turbine; torque impactor; ROP; deep stratum; Tahe Oil Field

塔河油田奥陶系碳酸盐岩油藏自上而下主要钻遇第四系、第三系、白垩系、侏罗系、三叠系、二叠系、石炭系、泥盆系、志留系和奥陶系等地层。通过对地层三压力剖面的认识,结合目前钻井工艺技术,塔河油田井深在6 200 m以内的井采用三级井身结构,井深超过6 200 m的井采用四级井身结构。三级井身结构为:一开采用346.1 mm钻头钻至1 200 m,下入273.1 mm套管;二开采用241.3 mm钻头钻至奥陶系风化壳以上8~10 m或者进入奥陶系恰尔巴克组5 m左右结束,下入177.8 mm套管;三开采用149.2 mm钻头钻至完钻井深,

裸眼完井。四级井身结构为:一开采用444.5 mm钻头钻至500 m,下入339.7 mm套管;二开采用311.2 mm钻头钻至4 500 m左右,下入244.5 mm套管;三开采用215.9 mm钻头钻至奥陶系风化壳以上8~10 m或者进入奥陶系恰尔巴克组5 m左右结束,下入177.8 mm套管;四开采用149.2 mm钻头钻至完钻井深,裸眼完井。

通过对塔河油田主力区块12区和托甫台区三开井段钻井周期和机械钻速的统计分析得出:12区三开井段进尺占全井进尺的29.3%,钻井周期占全井的59%,该开次的平均机械钻速由二开井

收稿日期:2011-12-28;修订日期:2012-03-06。

作者简介:张俊(1982—),男,硕士,工程师,从事钻井工艺技术研究工作。E-mail:zhangjun830410@163.com。

段的 16.96 m/h 下降至 3.33 m/h,降幅达 80.5%;托甫台区三开井段进尺占全井进尺的 27.2%,钻井周期占全井的 62.28%,该开次的平均机械钻速由二开井段的 11.51 m/h 下降至 2.20 m/h,降幅达 80.9%。

因此,提高塔河油田深部地层的机械钻速是塔河油田钻井提速的关键。

## 1 制约钻井提速的技术难点

(1)深部地层发育硬质夹层,影响 PDC 钻头使用效果。为实现钻井提速,近年来塔河油田推广应用 PDC+螺杆钻井工艺,该工艺在均质地层提速效果明显。但螺杆钻具转速高且转速不易调整,在钻遇硬质夹层时高转速易导致 PDC 复合片的非正常损坏,降低了 PDC 钻头的使用寿命和机械钻速。

(2)泵压条件制约,超深井段水力破岩效果有限。现有机泵条件下,钻井过程中的泵压通常低于 25 MPa,该泵压下水力能量大部分都损失在超深井段的沿程压耗,钻头水功率低下是该井段机械钻速较低的原因之一。

(3)部分井二叠系火成岩发育、可钻性差也是造成该井段机械钻速低的原因之一。

(4)随着井深的增加,地层抗压强度增大,可钻性较差,机械钻速明显降低,制约着深井优快钻井技术的发展。

## 2 钻井提速配套技术对策

围绕深部地层钻井提速,通过近 2 年钻井技术攻关,持续进行井身结构优化,相继开展了高压喷射钻井、涡轮钻井、扭力冲击器等先进技术先导试验。进行了高效钻头优选,并推广了复合钻井等一批成熟的配套技术,使塔河油田深部井段钻井速度得到了稳步提升,初步形成了适宜于塔河油田深部井段的钻井配套技术。

### 2.1 优化井身结构

塔河油田目前采用的井身结构主要是三级井身结构和四级井身结构。由于奥陶系碳酸盐缝洞

型油藏压力衰减较快,为了节约钻井投资成本,对产量低下的老井和未能见产的新井采取老井侧钻的开发方式。

目前塔河油田侧钻井采用裸眼侧钻和套管开窗侧钻 2 种方式。由于部分老井水体较发育,侧钻过程中为了有效避开水体就要上移侧钻点。受地质条件约束,177.8 mm 油层套管均下在哈尔巴克组或以上,管鞋距产层 50~80 m。对于三级井身结构井上移侧钻点就要在 177.8 mm 套管内开窗侧钻,149.2 mm 井眼不能实现二次封隔巴楚组、桑塔木组易垮塌泥岩地层。

四级井身结构井开次多,固井、测井等特种作业时间长,三级井身结构又不能满足侧钻封隔易坍塌泥岩地层的要求。2011 年西北油田分公司对三级井身结构进行了优化(表 1)。

采用优化三级井身结构,能够实现不扩孔下入 127 mm 尾管进行固井作业。对于老井侧钻,为保证完井管柱的下入和地质避水要求,可提高造斜点在泥岩段以上地层,用 165.1 mm 钻头定向钻进至产层顶部,用膨胀管封隔易垮塌泥岩地层,再用 149.2 mm 钻头钻至完钻并深。

优化三级井身结构与常规三级井身结构相比可以实现侧钻二次封隔易垮塌泥岩地层,与四级井身结构相比减少了一个开次,缩短了钻井周期。

### 2.2 优选高效钻头

优选高效钻头是钻井提速的关键手段之一。PDC 钻头的应用作为塔河油田钻井提速的配套工艺之一,其优选效果直接影响深部地层的机械钻速。通过对近年来塔河油田 12 区和托甫台区深部地层 215.9 mm 钻头使用情况进行统计分析,优选出适合于塔河油田深部地层的高效 PDC 钻头(表 2)。

通过 PDC 钻头优选,深部地层钻头综合技术指标得到了提高。TP14 在 5 465.74~6 262 m 井段使用百施特 M1955SS 的 PDC 钻头,单趟钻进尺 796.26 m,纯钻时间 226.07 h,机械钻速 3.5 m/h。比托甫台 215.9 mm 井眼平均机械钻速 2.20 m/h 提高了 59.1%。

表 1 三级井身结构优化

Table 1 Optimization of three-stage casing program

序号	钻头尺寸/mm	井深/m	套管尺寸/mm	壁厚/mm	内径/mm	通径/mm	下深/m	水泥返高/m	固井方式
导管	660	50	508	11.13	485.74	480.98	50	地面	
一开	346.1	1 200	273.1	8.89	255.32	251.35	1 198	地面	一级固井
二开	250.88	6 453	193.7	12.7	168.3	165.1	6 450	200	双级固井
三开	165.1	6 630							裸眼完井或视情况下入 127 mm 尾管

表 2 塔河油田 215.9 mm 井眼钻头选型推荐

Table 2 Selection recommendation for 215.9 mm borehole bit, Tahe Oil Field

区块	井眼尺寸/mm	井段/m	钻遇地层	推荐钻头型号
TP	215.9	4 500 ~ 5 300	$K_{1s}, K_{1y}, T_3h, T_2a$	MS1952SS/DS653AB/GS605F
	215.9	5 300 ~ 6 300	$C_{1kl}, C_{1b}, D_3d, S_{1t}, O_3s$	DS653AB/M1955SS
	215.9	6 300 ~ 6 700	$O_3s, O_3l, O_3g$	ES1935SG/M5165LA/DM564
12	215.9	4 500 ~ 5 900	$K_1, J_1, T_3h, T_2a, T_{1k}, C_{1kl}$	STS915K/FS2565N2/DS752AB
	215.9	5 900 ~ 6 600	$C_{1kl}, C_{1b}, D_3d$	DS653AB/FS2565N2/MS1952SS

TH12219 在 4 539 ~ 5 877 m 井段使用新速通 STS915K 的 PDC 钻头,单趟钻进尺 1 338 m,纯钻时间 199.5 h,机械钻速 6.71 m/h。比 12 区 215.9 mm 井眼平均机械钻速 3.33 m/h 提高了 101%。

### 2.3 高压喷射钻井

高压喷射钻井技术自 20 世纪 60 年代问世以来,在提高钻头进尺和机械钻速等方面都取得了突破性进展,为高效快速钻井开辟了广阔的前景。大量的研究和实践表明,喷速越高,钻速越大,同时钻头进尺越多。1978 年全国各油田大力推广高压喷射钻井技术,在相同地层和参数条件下,高压喷射钻井比普通钻井钻速提高 1 倍以上<sup>[1-4]</sup>。

经过多年的探索和装备更新改进,塔河油田在上部地层利用高压喷射钻井技术提速效果较好。目前制约高压喷射钻井的关键因素是钻井装备,尤其是钻井泥浆泵。现有钻井泥浆泵基本是 F-1600 型,不能满足 35 MPa 以上压力的高压喷射钻井需求,为此对现有装备进行了升级配套。

近 2 年来,西北油田分公司开展了 35 MPa 高压喷射钻井技术研究及现场试验工作,现场应用 2 口井,提速效果明显。

### 2.4 引进高效辅助破岩工具

#### 2.4.1 扭力冲击器

扭力冲击器由加拿大联合金刚石(United Diamond)公司开发,命名为 TorkBuster,用于辅助 PDC 钻头钻进,具有延长钻头寿命和提高机械钻速的特点。

扭力冲击器的特点是在 PDC 钻头的切削齿上施加一定强度的、持续的、与钻头切削岩石方向相同的扭转冲击能量,可使 PDC 复合片在切削地层时获得稳定的切削动力及达到理想的切入岩石深度,从而提高切削效率。最重要的是可以随时释放由于 PDC 钻头切削地层造成的钻具能量的积蓄,降低和消除钻具因此产生的振动,减少钻头的异常回转、弹跳和 PDC 复合片的粘滑,从而提高钻头寿命及切削效率,使 PDC 钻头钻进复杂地层变为现实<sup>[5-7]</sup>。据有关资料显示,PDC 钻头配套扭力冲击器已在美国德州、墨西哥和中东等油田实现进尺

50 万余米,钻井实践表明同比提高机械钻速 100%,单只 PDC 钻头进尺增加 40% 以上。

2010 年,在元坝地区上、下沙溪庙组地层进行了提速试验,机械钻速从 1.33 m/h 提高到 3.34 m/h。是同地层牙轮钻头机械钻速的 3.04 倍,是螺杆+PDC 钻头复合钻进机械钻速的 2.59 倍。

#### 2.4.2 涡轮+高效 PDC 复合钻井技术

涡轮钻井工具由于其稳定的工作寿命,在提高机械钻速的同时,减少了起下钻等辅助时间,从而缩短钻井周期。

涡轮钻具的特点:(1)直接给钻头提供很高的机械动力,以获得最佳机械钻速;(2)可靠性很高的涡轮钻具配合适应高转速的长寿命的 PDC 钻头,大大减少了起下钻次数;(3)涡轮+高效 PDC 钻头的高速剪切作用,大大增强了破岩效率;(4)由于转盘转速较低,减小了井下钻具对套管的磨损;(5)涡轮钻具的震动水平较低,可减少由于井底钻具震动对钻头和井底钻具组合的损坏。

## 3 配套技术现场应用

2010-2011 年在塔河油田 12 区和托甫台区深部地层开展了高压喷射、扭力冲击器、涡轮钻井等钻井提速配套技术的现场试验。

### 3.1 高压喷射钻井现场应用情况

2010 年在塔河油田 TH12233 井和 TP308X 井一开和二开井段进行了高压喷射钻井现场试验。TH12233 井为三级井身结构,TP308X 井为四级井身结构。钻遇地层为第四系、上第三系、下第三系、白垩系、侏罗系、三叠系、石炭系、泥盆系和奥陶系,岩性以砂泥岩为主。

#### 3.1.1 一开试验分析

TH12233 井一开采用使用 SKG124 牙轮钻头,排量 80 L/s,泵压 20 ~ 25 MPa,钻头压降 10 MPa。进尺 1 152 m(50 ~ 1 202 m),纯钻时间 15.09 h,平均机械钻速 76.34 m/h,与邻井 TH12133,TH12117 等 8 口井相比(平均钻速 26.29 m/h),机械钻速提高了 190%(表 3)。

表 3 TH12333 井与邻井一开机械钻速对比

Table 3 Comparison of first opened ROP between well TH12333 and adjacent wells

井名	钻头型号	井段/m	进尺/m	泵压/MPa	钻时/h	钻速/(m·h <sup>-1</sup> )
TK1247	MP2G	50~1 199	1 149	15	36.5	31.48
TK1282	MP2G	50~1 202	1 152	15	44.0	26.18
TK1283	MPC2	50~1 208	1 158	18	56.5	20.49
TK1286	SKG124	50~1 202	1 152	18	68.0	16.94
TK1229	MP2G	47~1 198	1 151	20	28.5	40.38
TH12133	SKG124	59~1 200	1 141	16~23	36.5	31.26
TK1249	MP2	50~1 201	1 151	12	51.5	22.35
TH12117	MP2G	50~1 201	1 151	23	31	37.13
TH12233	SKG124	50~1 202	1 152	20~25	15.09	76.34

TP308X 井一开进尺 447 m(50~497 m),排量 80 L/s,泵压 25 MPa,平均机械钻速 111.75 m/h。与邻井同井段相比提高了 200%。

### 3.1.2 二开试验分析

TH12233 井二开首先用一只 HAT127 牙轮钻头进行钻进,钻井参数为:泵压 35 MPa,排量 70~80 L/s。牙轮钻头钻井井段 1 202~2 020 m,进尺 818 m,纯钻时间 19.34 h,平均机械钻速 42.30 m/h,与邻井同井段相比提高 138%。然后下入 PDC 钻头,泵压 35 MPa,排量 35~70 L/s。钻井井段 2 020~6 031 m,进尺 4 011 m,纯钻时间 384 h,钻速为 10.45 m/h,与邻井同井段相比提高 50% 以上。

本井二开全井段平均机械钻速 11.95m/h,与邻井二开平均机械钻速 6.71m/h 相比,机械钻速提高了 78.1%。

TP308X 井二开首先下入牙轮钻头,泵压 35 MPa,排量 70~80 L/s,进尺 1 730 m(497~2 227 m),平均机械钻速高达 200.88 m/h,与邻井同比提高 6 倍,并在 678~2 028 m 井段创塔河油田日进尺最高记录(1 350 m)。然后下入 PDC 钻头,PDC 钻头钻至中完井深 4 673 m,进尺 2 446 m,平均机械钻速 36.7 m/h,与邻井同井段相比提高了 165%(表 4)。

本井二开平均机械钻速 55.48 m/h(表 4),与邻井同井段平均机械钻速 15.32 m/h 相比提高了 262%。

### 3.2 扭力冲击器现场应用情况

扭力冲击器在 TH12153 井进行现场试验,应用井段 4 391~6 005 m。钻具组合:UD516 钻头+165.1 mm Torkbuster+165.1 mm 钻铤×2 根+214 mm 扶正器+165.1 mm 钻铤×17 根+127 mm 加重钻杆×12 根+127 mm 钻杆,进尺 1 614 m,纯钻时间 235 h,平均机械钻速 6.87 m/h,相比邻井平均钻速 5.27 m/h 提高了 30.36%。

表 4 TP308X 井与邻井二开机械钻速对比

Table 4 Comparison of second opened ROP between well TP308X and adjacent wells

井名	井段/m	进尺/m	钻速/(m·h <sup>-1</sup> )
TP24	502~4 500	3 998	12.2
TP8-1	501~4 500	3 999	17.13
TP12-1X	600~4 500	3 900	18.57
TP12-2	500~4 500	4 000	13.38
TP101	806~4 980	4 174	14.05
TP15X	500~4 500	4 000	15.24
TP28X	600~4 575	3 975	11.44
TP222	801~4 797	3 996	20.56
TP308X	497~4 673	4 176	55.48

TP234X 井进行扭力发生器现场试验,试验井段 5 178.36~6 167.84 m。钻具组合:UD513 钻头+165.1 mm Torkbuster+165.1 mm 钻铤×2 根+214 mm 扶正器+165.1 mm 钻铤×17 根+127 mm 加重钻杆×12 根+127 mm 钻杆,进尺 989.48 m,纯钻时间 171.92 h,平均机械钻速 5.75 m/h;相比邻井平均钻速 3.24 m/h 提高了 77.47%。

### 3.3 涡轮钻井现场应用情况

涡轮+高效 PDC 钻头复合钻井技术在 TP140 井进行现场试验。

第一趟钻施工井段 5 177.33~5 285.81 m,进尺 108.48 m,纯钻时间 37.4 h,平均机械钻速 2.9 m/h。钻具组合:215.9 mm 钻头(FX55D)+430×430 配合接头+195 mm T1-195C 涡轮钻具(三节)+411×4A10 配合接头+158.8 mm 钻铤×12 根+158.8 mm 随钻震击器+158.8 mm 钻铤×3 根+127 mm 加重钻杆×3 根+127 mm 钻杆。钻井参数为:钻压 40~80 kN,转速 50 r/min,排量 30~34 L/s,泵压 30~33.5 MPa。

第二趟钻施工井段 5 302~5 764.84 m,进尺 462.84 m,纯钻时间 144.6 h,平均机械钻速 3.20 m/h。

