

图深 1 井涡轮钻井技术应用分析

张建龙¹, 李元闯², 胡雪梅³, 赵 鹏⁴, 谭国锐⁵

(1. 中国石化石油工程技术研究院, 北京 100101; 2. 中国石化东北油气分公司, 吉林 长春 130062; 3. 兰德(廊坊)石化环保设备有限公司, 河北 廊坊 065000; 4. 胜利油田奥凯龙石油工程有限公司, 山东 东营 257091; 5. 中国石化西南油气分公司重庆钻井公司, 重庆 401120)

摘 要:长岭断陷泉头组以下深层地层岩石可钻性级值不断增高, 机械钻速低, 钻井周期长, 提高深层钻井速度成为该地区钻井关键的问题。涡轮钻井由于具有高转速、高扭矩特点, 能够提高破岩效率, 但其特点又决定了其应用具有一定局限性, 通过对图深 1 井涡轮钻井提速分析表明, 涡轮钻井在长岭断陷登娄库组地层具有良好的提速效果, 在营城组凝灰岩地层达不到提速的目的。

关键词:涡轮钻井; 钻井提速; 凝灰岩

中图分类号: TE242.4 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2013)09-0020-03

Analysis on the Application of Turbo Drilling Technology in the Well Tushen 1/ZHANG Jian-long¹, LI Yuan-chuang², HU Xue-mei³, ZHAO Peng⁴, TAN Guo-rui⁵ (1. SINOPEC Research Institute of Petroleum Engineer, Beijing 100101, China; 2. Northeast Oil and Gas Company, SINOPEC, Changchun Jilin 130062, China; 3. Landy (Langfang) Petrochemical & Environmental Protection Equipment Co., Ltd., Langfang Hebei 065000, China; 4. Shengli Oil Field Aokailong Products Engineering Co., Ltd., Dongying Shandong 257091, China; 5. Chongqing Drilling Company, Southwest Oil and Gas Company, SINOPEC, Chongqing 401120, China)

Abstract: In the deep formation below Changling fault Quantou group, because of the increasingly higher rock drillability grade, low ROP and long drilling period, drilling speed improvement becomes the key problem in this area. The high rotating speed and high torque of turbo drilling can improve the rock breaking efficiency by high rotating speed and high torque, but it has a certain limitation. By the analysis on the speed-up of turbo drilling in the well Tushen 1, turbo drilling has good speed-up effect in fault Dengloulou formation, but it isn't fit to the Yingcheng group tuff formation.

Key words: turbo drilling; drilling speed; tuff

长岭断陷泉头组以下深层地层由于压实程度高, 岩石致密, 岩石硬度及抗压强度均很高, 岩石研磨性强、可钻性差。钻井速度低、建井周期长。

泉头组以下地层提速问题一直是困扰该地区油气勘探的技术难题。长岭断陷泉头组及登娄库组岩性主要为细砂岩、粉砂岩及泥岩地层, 岩石可钻性级值达到 6~8 级, 采用常规钻井技术钻井时钻速相当慢, 钻速最低的登娄库组平均钻速 < 1 m/h, 使用常规复合钻井技术虽然能够适当提高机械钻速, 机械钻速提高的幅度依然有限。

长岭断陷图深 1 井在可钻性级值各不相同的登娄库组及营城组地层使用了涡轮钻井技术, 在登娄库组取得了明显的提速效果, 这为我们研究长岭断陷涡轮钻井技术适用范围及提速效果提供了参考。登娄库组涡轮钻井技术成功的应用, 进一步证明了涡轮钻井技术是长岭断陷泉头组及登娄库组最佳的

提速配套技术之一。

1 图深 1 井概况

图深 1 井是松辽盆地长岭断陷达尔罕断凸带北端前训字井圈闭上的一口预探井, 设计井深 4500 m, 完钻井深 4630 m。

该井钻遇地层岩性主要为砂岩、泥岩, 在营城组发育凝灰岩。泉头组以下深部地层随着压实及火山作用, 岩石可钻性级值高, 机械钻速明显降低, 全井钻井速度提高的关键在于提高泉头组以下地层的钻井速度。

为了提高深部地层钻井速度, 该井在泉头组以下地层使用了空气钻井、涡轮钻井、欠平衡钻井及常规复合钻井等多种提速技术, 各种提速技术均取得了不同程度的提速效果。

该井考虑到使用空气钻井提速技术, 采用四级

收稿日期: 2013-03-20; 修回日期: 2013-07-04

作者简介: 张建龙(1966-), 男(汉族), 湖北罗田人, 中国石化石油工程技术研究院高级工程师, 石油工程、地质及计算机专业, 双学士, 从事石油钻井理论研究与实践工作, 北京市朝阳区北辰东路 8 号北辰时代大厦 916 室, zhangjl.sripe@sinopec.com。

井身结构,钻头程序为 $\varnothing 444.5 \text{ mm} \times 501.62 \text{ m} + \varnothing 311.2 \text{ mm} \times 2500 \text{ m} + \varnothing 215.9 \text{ mm} \times 3291 \text{ m} + \varnothing 152.4 \text{ mm} \times 4630 \text{ m}$ 。

该井井身结构如图 1 所示。

三开泉头组使用了空气钻井技术,登娄库组使用了涡轮钻井技术,进入目标地层营城组前,套管封固上部井段。

2 涡轮钻井高效破岩原理

涡轮钻具是一种利用不同级的涡轮叶片组合将钻井液能量转化为具有较高转速的一种动力钻具。涡轮钻具由涡轮节及支撑节等多节组成。涡轮节内部分别由涡轮定子、转子、主轴、止推轴承组、扶正轴承、联接器和外壳等主要零部件组装而成^[1],如图 2 所示。

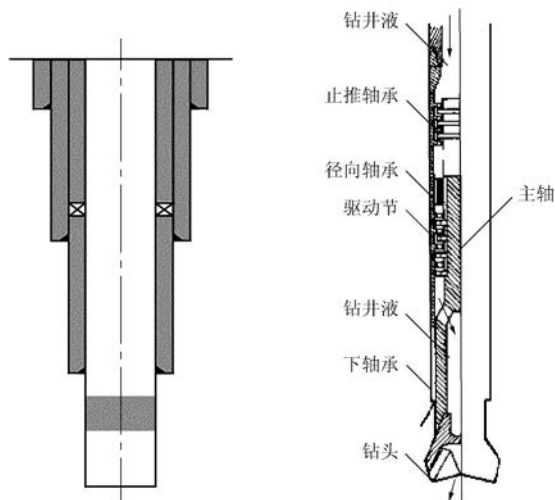


图 1 图深 1 井井身结构图

图 2 涡轮钻具结构示意图

涡轮节中装有多级定子、转子以及扶正轴承。钻井液在通过由定、转子等多级涡轮叶片组合成的涡形流道(图 3)后,定子使向下流动的钻井液流发生偏转,冲击转子,迫使转子带动竖直轴做顺时针转动。止推轴承用来承受轴向载荷,而径向轴承对轴起扶正作用。在液流通过多级涡轮后,其中分出少量的液流流过下部轴承并进行润滑,其余的液流则进入主轴下段内部的空心流道,流经钻头喷嘴进入环空。

钻井液在涡轮流道中向下流动时,将钻井液向下流动产生的轴向能量转化为较大的周向推力,推动钻头高速运转,产生较高的转速及扭矩,从而提高钻头单位时间内的破岩效率。

涡轮钻具具有高转速、较高扭矩的特点。涡轮钻具转速是常规螺杆钻具转速的 5 倍。涡轮钻具工

作平稳,减少了因为振动引起的钻头断齿、胎体断裂等钻头伤害,延长钻头寿命,涡轮钻具内部由金属涡轮叶栅组成,没有橡胶元件,可以应用于高温环境。

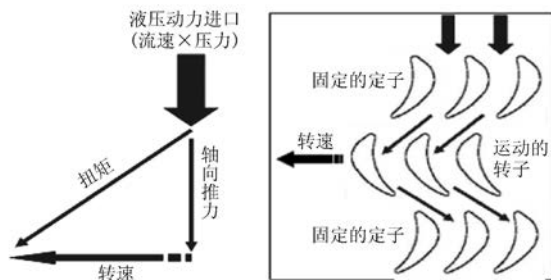


图 3 涡轮钻具提速原理

目前市场上常用的俄罗斯及史密斯公司生产的涡轮钻具转速均达到 1000 r/min ,其中俄罗斯生产的涡轮转速达到 1000 r/min ,美国史密斯公司生产的涡轮钻具转速达到 $700 \sim 1440 \text{ r/min}$ 。国内研发的涡轮钻具输出转速一般在 $400 \sim 600 \text{ r/min}$ 。常用尺寸的螺杆钻具转速一般在 $80 \sim 200 \text{ r/min}$,只有极少数的螺杆钻具转速达 $300 \sim 500 \text{ r/min}$,与涡轮钻具相比,螺杆钻具输出转速明显偏低。

涡轮钻井技术主要还是通过钻头的剪切、磨蚀作用破碎岩石,其破岩原理与使用螺杆钻具进行的复合钻井相近,只是其输出转速更高。

涡轮钻井常常配合使用孕镶金刚石钻头。由于金刚石具有耐磨性,涡轮钻具配合使用孕镶钻头时可以在较高强度的地层中应用。

涡轮钻井最适用于中软或中硬地层($K_d 5 \sim 8$ 级)。在软地层($K_d 4$ 级以下),由于岩石可钻性级值太低、地层较松软,使用常规的复合钻井技术也能起到良好的提速效果;对于硬或极硬地层($K_d 9$ 级以上高研磨性地层),岩石在具有极高可钻性级值的同时,还具有较高的研磨性,由于钻头吃入地层困难,钻头承受的高转速及高扭矩、钻压等综合能量不能有效转化为破岩能量,大部分能量积聚在钻头上,在这样的地层使用孕镶金刚石钻头,由于受孕镶金刚石钻头本身的材料结构特点的限制,在高研磨性地层作用下,过高的转速容易引起孕镶金刚石钻头胎体过早出现破坏性磨损,孕镶在胎体中的金刚石颗粒也会随之脱落。

在中软或中硬地层,岩石强度不高,钻头材料强度能够抵御岩石研磨性对钻头的影响,但由于岩石可钻性级值及岩石压实程度与软地层相比明显提高,钻头破岩时牙齿“吃入”地层难度明显增大,单次破岩效率降低。提高破岩效率比较好的方法是使

用旋转冲击钻井或复合钻井技术。使用复合钻井技术时,如果采用常规的螺杆钻具钻进,由于螺杆钻具输出转速低,单位时间内破岩效率有限,而如果使用涡轮钻井技术,则能够大幅度提高破岩效率。

3 图深 1 井涡轮钻井技术应用

长岭断陷泉头组一段以下地层岩石可钻性级值明显增高,泉头组地层可钻性级值达到 6~8 级,营城组可钻性级值达到 9~12 级。

为了提高长岭断陷泉头组以下地层钻井速度,在该地区开展了多项提速技术应用。该地区泉头组一段以下地层钻进除使用常规钻井技术外,也使用了常规复合钻井及旋冲钻井等提速技术。不同技术起到的提速效果也各不相同,除旋冲钻井具有一定提速效果外,常规复合钻井技术提速效果有限。随着地层埋藏深度的增加,在登娄库组以下地层使用常规复合钻井技术提速效果越来越差。

图深 1 井进入登娄库组以后,开始使用 HJT537GK 牙轮钻头钻进,钻速只有 1.05 m/h。在 3586~3875 m 井段使用了涡轮钻井提速技术,取得了十分明显的提速效果。

涡轮钻井钻具组合为:Ø215.9 mm PDC 钻头 + Ø178 mm 涡轮钻具 + Ø209 mm 扶正器 + 6¼ in 钻铤 + 6¼ in 随钻震击器 + 6¼ in 钻铤 + 加重钻杆 + 钻杆。

使用的涡轮钻具为史密斯公司生产的钻具,钻头为美国国民油井生产的 E1167M-A1 孕镶金刚石钻头。涡轮钻井开始使用的钻压为 10~50 kN,排量为 30 L/s,钻井速度只有 1.96 m/h。涡轮钻进至 3632 m 后,根据现场钻井情况,进行了钻井参数优化,将钻压调整到 80 kN 左右,适当增加排量,钻速得到显著提高,优化钻井参数后平均钻速达到 2.47 m/h,与未优化参数前相比钻速提高 26%。

登娄库组整个涡轮钻井井段平均钻速达到 2.36 m/h,与涡轮钻井前使用牙轮钻头相比,钻速提高 124.276%,与邻井同层段钻速相比,钻速提高效果也非常明显。

图深 1 井登娄库组涡轮钻井速度与邻井同地层钻井速度情况及涡轮钻井钻井优化参数前后情况如图 4 及表 1 所示。

该井钻至 3841 m 地层即将进入营城组,地层中凝灰岩成分不断增多,凝灰岩地层岩石可钻性级值明显增高,由于地层过于致密,岩石的研磨性明显增强,受钻头材料的影响,过高的转速不但不能提高

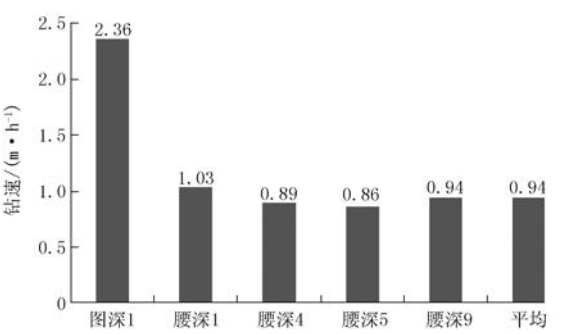


图 4 图深 1 井登娄库涡轮钻井与邻井钻速对比

表 1 图深 1 井涡轮钻井改变参数前后钻井情况

序号	井段 /m	地层	进尺 /m	纯钻 /h	钻速 /(m·h ⁻¹)	备注
1	3519~3586	登娄库	67	64.08	1.05	涡轮钻井前
2	3586~3632	登娄库	46	23.5	1.96	改变参数前
3	3632~3841	登娄库	209	84.5	2.47	改变参数后
	3841~3871	营城	30	47.75	0.63	
4	3871~3875	营城	4	10.5	0.38	

机械钻速,反而会加速钻头的破坏,引起钻速明显偏低,图深 1 井涡轮钻井使用的同样 E1167M-A1 钻头,进入营城组后钻速只有 0.63 m/h。

考虑到涡轮钻具第一次入井且已经使用 132.25 h,起钻更换全新涡轮及新孕镶钻头钻进,更换涡轮及钻头后 3871~3875 m 井段,由于地层岩性中凝灰岩成分越来越高,使用涡轮钻井时钻井速度更低,平均钻速只有 0.38 m/h。

4 结论和认识

(1)长岭断陷登娄库组地层使用涡轮钻井技术可以大幅提高机械钻速;

(2)涡轮钻井应用期间,应根据现场实际情况优化钻井参数,以便取得更好的提速效果;

(3)营城组凝灰岩地层使用涡轮钻井技术提速效果较差。在凝灰岩地层,涡轮钻井的适应性有待进一步检验。

参考文献:

[1] John H C, William C M. Field Testing of Advanced Turbo-drill IADC/SPE Drilling Conference [C]. Orleans, Louisiana, 2000, SPE 5915.

[2] 冯定,卢运娇,余继华,等. 涡轮钻具涡轮节模块化设计方法研究[J]. 江汉石油学院学报,2004,26(1):119-122.

[3] 冯定. 国产涡轮钻井结构及性能分析[J]. 石油机械,2007,(1).

[4] 冯定. 涡轮钻具复合钻井技术[J]. 石油钻采工艺,2007,(6).

[5] 张建龙. 2012 年度东北油气分公司提速技术应用研究[Z]. 2012.