

塔河油田深井脉冲空化射流钻井试验研究

史怀忠¹, 李根生¹, 张 浩², 黄中伟¹, 牛继磊³, 王德余¹

(1. 油气资源与探测国家重点实验室(中国石油大学(北京)), 北京 102249; 2. 中石化西南石油工程有限公司临盘钻井分公司, 山东临邑 251500; 3. 中国石油大学(华东)石油工程学院, 山东青岛 266580)

摘 要:塔河油田深井钻井水力能量利用效率低、机械钻速低、钻井成本高,严重制约了勘探开发速度。针对该油田钻井实际情况,结合二开 $\phi 241.3$ mm 井眼地层、钻具组合和水力参数,利用水力脉冲空化射流钻井技术提高机械钻速。该技术配合常规钻具和复合钻井钻具组合使用,脉冲空化射流发生器耦合脉冲射流和自振空化射流,改善井底流场及岩面应力状态,提高钻速。该技术在塔河油田进行了 4 口井 5 井次的现场试验,在常规泵压、排量、钻井液密度等参数条件下试验井深达 6 162 m,试验井段与邻井相近井段在相近工况下机械钻速平均提高 33.3%~74.3%,单套钻具纯钻时间超过 260.0 h。试验结果表明,塔河油田二开井段砂岩、泥岩等地层配合 PDC 钻头应用水力脉冲空化射流钻井技术,能够很好地提高机械钻速。

关键词:脉冲射流 空化射流 机械钻速 现场试验

中图分类号:TE248 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0890(2013)03-0085-04

Experimental Study on Hydraulic Pulsed and Cavitating Jet Drilling Technique in Deep Wells of Tahe Oilfield

Shi Huaizhong¹, Li Gensheng¹, Zhang Hao², Huang Zhongwei¹, Niu Jilei³, Wang Deyu¹

(1. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum (Beijing), Beijing, 102249, China; 2. Linpan Drilling Company, Sinopec Xinan Oilfield Service Corporation, Linyi, Shandong, 251500, China; 3. School of Petroleum Engineering, China University of petroleum (Huadong), Qingdao, Shandong, 266580, China)

Abstract: Factors such as low hydraulic energy utilization efficiency and ROP, high drilling cost, etc. severely hindered the speed of petroleum exploration and development in Tahe Oilfield. In view of the real conditions of Tahe Oilfield, and drilling formation, BHA, and drilling parameters of the second drilling section $\phi 241.3$ mm wellbore, hydraulic pulsed and cavitating jet drilling were employed to increase ROP. Using conventional drilling tools and composite drilling tools, hydraulic pulsed and cavitating jet drilling technique modulates pulsed jet and cavitating jet to change flow field and rock stress state at the bottom of hole, and raise ROP. The technique had been applied 5 times in 4 wells in Tahe Oilfield. Under normal pumping pressure, flow rate and drilling fluid density, applied well depth reaches up to 6 162 m. The net drilling time of single set of drilling tool exceeded 260 h, the ROP in the applied well intervals was 33.3%~74.3% higher than adjacent wells which were similar in conditions. Field tests indicated that hydraulic pulsed and cavitating jet technique had a good adaptability to sandstone and mudstone formation of Cenozoic, Mesozoic and Palaeozoic group and different, together with PDC bit, it could enhance ROP by a large margin.

Key words: pulsed jet; cavitating jet; penetration rate; field test

塔河油田位于新疆塔里木盆地北部,目的层多在 6 000 m 以深,随着超深井数量的增多,所钻地层岩性越来越复杂,钻井施工难度也不断加大,存在深部地层坚硬、水力能量利用率低、机械钻速低等问题,提高超深井钻井速度成为实现塔河油田快速高效勘探开发的关键^[1-4]。

2004 年,中国石油大学(北京)高压水射流实验

收稿日期:2013-01-13; **改回日期:**2013-05-19。

作者简介:史怀忠(1974—),男,河南南乐人,1998 年毕业于石油大学(华东)机械设计及制造专业,2009 年获中国石油大学(北京)油气井工程专业博士学位,助理研究员,主要从事高压水射流在石油工程中的应用研究。

联系方式:(010)89733379, huaizhongshi@yahoo.com.cn。

基金项目:国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目“深井复杂地层安全高效钻井基础研究”(编号:2010CB226700)部分研究内容。

室提出水力脉冲空化射流钻井提速技术,并对提速机理进行了研究;利用数值模拟方法对水力脉冲空化射流参数进行了计算,设计样机并进行了现场参数特性测试,随后在 $\phi 311.1$ mm 和 $\phi 215.9$ mm 井眼内进行了现场试验。该技术是在钻进过程中通过水力脉冲空化射流发生器改变井底流场及岩石应力状态来提高破岩和清岩效果,达到提高机械钻速的目的^[5-11]。笔者结合塔河油田 $\phi 241.3$ mm 井眼的地层、钻具组合及钻井参数等,对水力脉冲空化射流发生器进行了优化设计,并进行了现场试验应用。

1 塔河油田深井钻井难点

1.1 阻卡严重

钻遇地层层序较多,地层岩性、压力变化较大,钻井过程中易发生压差卡钻。上部古近系一新近系地层疏松、可钻性好、钻速快,但极易被固相污染,软泥岩地层水化膨胀易引起缩径阻卡,部分地层含石膏易引起钙侵,提高钻井液密度容易出现渗漏^[12]。

1.2 地层垮塌严重

下部侏罗系-石炭系地层,其上部硬脆性泥岩及二叠系玄武岩易剥落掉块,坍塌严重,导致井径不规则,影响正常岩屑录井、测井,并影响固井质量,甚至导致出现井下复杂情况;奥陶系埋藏深度约 5 500 m,存在大量的垂向裂缝或溶洞,地层压力低,钻井过程中极易发生漏失^[13]。

1.3 机械钻速低

塔河油田油气藏以奥陶系碳酸岩潜山油藏为主,上覆岩层厚达 5 500 m 以上。在钻井过程中钻遇的绝大部分地层地质年代都比较古老,地质条件较为复杂,导致可钻性差,且随着井深的增加水力能量利用率降低,造成机械钻速低。

2 水力脉冲空化射流钻井技术

考虑塔河油田深井钻井难点、水力脉冲空化射流钻井技术的适应性及钻井成本等因素,选择水力脉冲空化射流钻井技术配合常规钻具和螺杆钻具在塔河油田进行深井提速。

钻进过程中,通过安装在钻头上部的水力脉冲空化射流发生器,实现脉冲射流和自振空化射流耦

合,达到钻井提速的目的。水力脉冲空化射流发生器主要由本体、弹性挡圈、导流体、叶轮、叶轮轴、叶轮座、自激振荡喷嘴及自激振荡腔室等组成,见图 1。钻进时,将通过钻头的钻井液的常规连续流动调制成振动脉冲空化流动,产生水力脉冲、空化冲蚀和瞬时负压等 3 种效应,改善井底流场及岩石应力状态,提高机械钻速^[13-14]。

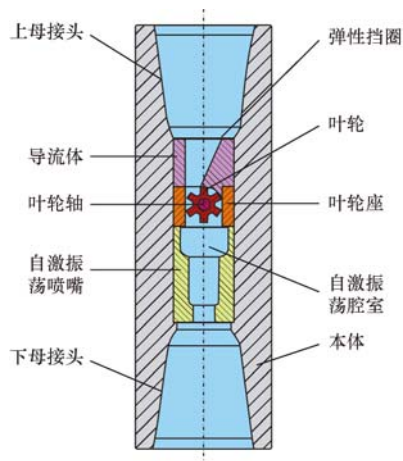


图 1 水力脉冲空化射流发生器结构

Fig. 1 Structure of hydraulic pulsed and cavitating jet generator

水力脉冲空化射流钻井技术是在常规钻井的基础上,利用安装在钻头和钻铤(螺杆钻具)之间的水力脉冲空化射流发生器,将钻井液的连续流动变为脉冲空化射流,改善井底流场及岩面应力状态,将岩屑及时带离井底,减少重复切削,提高清岩和破岩的效果。该技术不需要改变任何地面装备,具有很好的适应性。

3 现场试验

水力脉冲空化射流钻井技术在塔河油田 10 区和 12 区二开 $\phi 241.3$ mm 井段配合螺杆钻具和常规钻具在 4 口井进行了 5 井次现场试验,试验井深达 6 162.0 m,全试验井段与邻井相近井段在相近工况下,机械钻速平均提高 52.16%。

3.1 钻具组合和施工参数

在塔河油田水力脉冲空化射流技术现场试验中,针对试验井不同井段和具体情况,选用了不同的钻具组合(见表 1)。

4 口井二开 $\phi 241.3$ mm 井眼试验井段钻压 40~80 kN,转速 65~85 r/min,排量 30~40 L/s,泵压 19.0~22.5 MPa,钻井液密度 1.18~1.32 kg/L。

表 1 试验井概况及试验用钻具组合
Table 1 Overview of test wells and BHA

井号	设计井深/ m	试验井径/ mm	试验井段/ m	钻具组合
TK1093	6 009.0	241.3	1 274.0~3 919.0	PDC 钻头+水 力脉冲空化射流 发生器+螺杆钻 具+钻铤+钻杆
TK1294	6 287.0	241.3	5 403.0~5 993.0	PDC 钻头+水
TK1090	6 280.0	241.3	5 349.0~5 731.0 5 732.0~6 162.0	力脉冲空化射流 发生器+钻铤+ 钻杆
TK1296	5 980.0	241.3	4 903.0~5 185.0	

表 2 试验井与邻井相近井段机械钻速对比

Table 2 Comparison of ROP between the test wells and adjacent wells

序号	井别	井号	井段 /m	进尺/m	纯钻时/h	机械钻速/(m·h ⁻¹)
1	试验井	TK1093	1 274.0~3 919.0	2 646.0	68.7	38.50
	对比井	TK1017	1 270.0~3 919.0	2 649.0	93.3	28.39
	对比井	TK1067	1 408.6~4 083.3	2 674.7	98.0	27.29
2	试验井	TK1294	5 403.0~5 993.0	591.0	227.7	2.60
	对比井	TK1266	5 402.0~5 892.0	491.0	277.5	1.77
	对比井	TK1262	5 466.0~5 824.9	358.9	158.9	2.27
3	试验井	TK1090	5 349.0~5 731.0	383.0	136.6	2.80
	对比井	TK1013	5 495.0~5 731.0	237.0	130.1	1.82
	对比井	TK1067	5 161.9~5 872.0	711.1	347.5	2.05
4	试验井	TK1090	5 732.0~6 162.0	431.0	129.4	3.33
	对比井	TK1066	5 732.0~6 130.0	399.0	203.6	1.96
	对比井	TK1005	5 605.3~6 069.0	464.7	249.0	1.87
5	试验井	TK1296	4 903.0~5 185.0	283.0	76.3	3.70
	对比井	TK1244	4 903.0~5 185.0	283.0	89.2	3.13
	对比井	TK1205	5 116.8~5 200.9	85.1	52.8	1.61

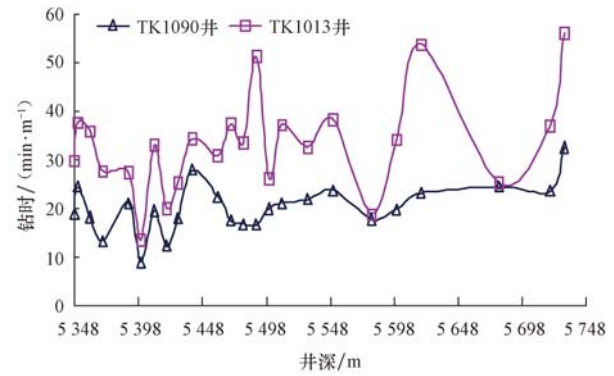


图 2 TK1090 井与邻井 TK1013 井相同井段钻时对比
Fig. 2 Comparison of drilling time per meter between
Well TK1090 and TK1013

3.2 试验结果

在 TK1093 井二开 $\phi 241.3$ mm 井眼上部试验井段(井深 1 274.0~3 919.0 m),配合螺杆钻具进尺 2 646.0 m,纯钻时间 68.7 h,平均机械钻速 38.5 m/h。在相近工况下,与邻井相近井段相比机械钻速平均提高 38.5%;在 TK1294、TK1090、TK1296 井二开 $\phi 241.3$ mm 井眼下部井段(井深 4 903.0~6 162.0 m),配合常规钻具钻进,在相近工况下与邻井相近井段相比,机械钻速平均提高 33.3%~74.3%(见表 2)。TK1090 井和 TK1296 井与邻井相近井段的钻时对比如图 2、图 3 所示。

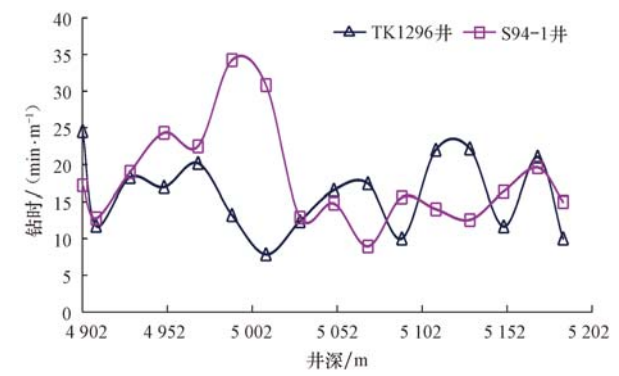


图 3 TK1296 井与邻井 S94-1 井相同井段钻时对比
Fig. 3 Comparison of drilling time per meter between
Well TK1296 and S94-1

试验结果表明,水力脉冲空化射流钻井技术适用于塔河油田(包括新生界、中生界和古生界砂岩、泥岩地层)提速,配合 PDC 钻头最大试验井深为 6 162.0 m,不同地层钻速平均提高 33.3%~74.3%;现场试验在常规泵压、排量、水力参数、钻井液密度等条件下进行,水力脉冲空化射流发生器正常可配合 1 只 PDC 钻头工作 260 h 以上,满足现场要求。

4 结论及建议

1) 通过现场试验可知,在塔河油田 $\phi 241.3$ mm 井眼配合螺杆钻具或常规钻具,使用水力脉冲空化射流钻井技术可以有效提高机械钻速,但不同地层提速效果差异大。

2) 结合二开 $\phi 241.3$ mm 井眼,研制了 $\phi 198.0$ mm 水力脉冲空化射流发生器,现场试验表明,各参数稳定,使用寿命超过 260 h,满足现场需要。

3) 建议在塔河油田 10 区、12 区二开 $\phi 241.3$ mm 井眼上部地层配合螺杆钻具、下部地层配合常规钻具应用该技术,并结合现场试验参数对工具进行优化设计,以形成塔河油田深井提速新方法。

参 考 文 献

References

- [1] 沈忠厚. 现代钻井技术发展趋势[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(1): 89-91.
Shen Zhonghou. Development trend of the modern drilling technology[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(1): 89-91.
- [2] 曲洪娜, 黄中伟, 李根生, 等. 水平井旋转射流冲砂洗井水力参数设计方法[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(6): 39-43.
Qu Hongna, Huang Zhongwei, Li Gensheng, et al. Hydraulic parameters of sand-flushing with rotating jets in horizontal wells[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(6): 39-43.
- [3] 汪海阁, 郑新权. 中石油深井钻井技术现状与面临的挑战[J]. 石油钻采工艺, 2005, 27(2): 4-8.
Wang Haige, Zheng Xinquan. Status and faced challenges of deep well drilling techniques of petrochina[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2005, 27(2): 4-8.
- [4] 闫光庆, 张金成. 中国石化超深井钻井技术现状与发展建议[J]. 石油钻探技术, 2013, 41(2): 1-6.
Yan Guangqing, Zhang Jincheng. Status and proposal of the Sinopec ultra-deep drilling technology[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(2): 1-6.
- [5] 周玉仓, 宋勇. 塔河油田大尺寸井眼提高钻井速度初探[J]. 石油钻探技术, 2004, 32(6): 62-63.
Zhou Yucang, Song Yong. How to increase the ROP in a large wellbore in the Tahe Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2004, 32(6): 62-63.
- [6] 王智锋. 负压脉冲钻井技术理论及方法[J]. 石油钻采工艺, 2005, 27(6): 13-15.
Wang Zhifeng. Discussion on theory and methodology of suction-pulse drilling technique[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2005, 27(6): 13-15.
- [7] 王甲昌, 张金成, 赵国顺, 等. 35 MPa 高压喷射钻井技术实践[J]. 石油钻探技术, 2012, 40(6): 22-26.
Wang Jiachang, Zhang Jincheng, Zhao Guoshun, et al. Practice of 35 MPa high pressure jet drilling[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2012, 40(6): 22-26.
- [8] 李根生, 沈忠厚, 周长山, 等. 自振空化射流研究与应用进展[J]. 中国工程科学, 2005, 7(1): 27-32.
Li Gensheng, Shen Zhonghou, Zhou Changshan, et al. Advances in investigation and application of self-resonating cavitating water jet[J]. Engineering Science, 2005, 7(1): 27-32.
- [9] 傅家生, 李根生, 时华忠, 等. A novel tool to improve the rate of penetration-hydraulic pulsed cavitating-jet generator[J]. SPE Drilling and Completion, 2012, 27(3): 354-361.
- [10] 李根生, 时华忠, 牛继磊, 等. Hydraulic pulsed cavitating jet assisted deep drilling: an approach to improve rate of penetration[R]. SPE 130829, 2010.
- [11] 史怀忠, 李根生, 沈忠厚, 等. 水力脉冲空化射流发生器配合 Power V 防斜打快技术[J]. 石油钻探技术, 2009, 37(1): 14-17.
Shi Huaizhong, Li Gensheng, Shen Zhonghou, et al. Application of hydraulic pulsation cavitating generator with Power V System in Well Fengcheng-1[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(1): 14-17.
- [12] 杨永印, 沈忠厚, 王瑞和. 低压脉冲射流井底欠平衡钻井提高钻速机理分析[J]. 石油钻探技术, 2002, 30(5): 15-16.
Yang Yongyin, Shen Zhonghou, Wang Ruihe. Analysis of the mechanisms of improving ROP using low pressure pulse jetting techniques in under-balanced drilling[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2002, 30(5): 15-16.
- [13] 王立峰, 王杰东, 冯纪成, 等. 塔河油田超深定向井 KCl 阳离子乳液聚磺钻井液技术[J]. 石油钻探技术, 2012, 40(3): 73-77.
Wang Lifeng, Wang Jiedong, Feng Jicheng, et al. Cationic emulsion polymer-sulfonate drilling fluid for ultra-deep directional well in Tahe Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2012, 40(3): 73-77.
- [14] 张志云, 李根生, 史怀忠, 等. 超深井水力脉冲空化射流钻井试验研究[J]. 石油钻探技术, 2009, 37(4): 11-14.
Zhang Zhiyun, Li Gensheng, Shi Huaizhong, et al. Experiment study on ultra-deep well hydraulic pulsating-cavitating water jet drilling[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(4): 11-14.

[编辑 滕春鸣]