

◀“973”计划专题▶

doi:10. 3969/j. issn. 1001-0890. 2013. 06. 008

自激振荡式旋冲工具在深井超深井中的试验应用

雷 鹏¹, 倪红坚¹, 王瑞和¹, 蒋金宝², 宋维强¹

(1. 中国石油大学(华东)石油工程学院, 山东青岛 266580; 2. 中石化中原石油工程有限公司塔里木分公司, 新疆库尔勒 841000)

摘 要:针对深井、超深井钻井机械钻速低的问题,根据调制水力脉冲激发钻头冲击振动的原理,研制了自激振荡式旋冲钻井工具。工具性能参数测试结果显示,工具产生的压力脉动与冲击力随排量的增加而增大。在塔河油田进行了 3 口井的试验应用,结果表明,自激振荡式旋冲钻井工具研制思路正确可行,与钻头类型、地层岩性、钻井液密度和排量等相关钻井参数具有良好的适应性,机械钻速相对提高 31.8%~80.5%。自激振荡式旋冲钻井工具具有性能稳定、操作简单、使用方便、寿命长、延缓 PDC 钻头磨损等特点,可推广性较强,为深井、超深井钻井提速提供了一条有效的技术途径。

关键词:脉冲射流 超深井 旋冲钻井 现场试验 机械钻速

中图分类号:TE242 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0890(2013)06-0040-04

Field Test of Self-Excited Vibration Rotary Percussion Drilling Tool in Deep and Ultra-Deep Wells

Lei Peng¹, Ni Hongjian¹, Wang Ruihe¹, Jiang Jinbao², Song Weiqiang¹

(1. School of Petroleum Engineering, China University of Petroleum (Huadong), Qingdao, Shandong, 266580, China; 2. Tarim Drilling Company, Sinopec Zhongyuan Oilfield Service Corporation, Kurla, Xinjiang, 841000, China)

Abstract: Self-excited vibration rotary percussion drilling tool was developed according to the principle of adjusting hydraulic pulse to cause the bit vibration for solving the problem of low penetration rate in deep and ultra-deep wells. The performance parameters of the tool were tested by experiment, the results show that increase of pulsation and impact force generated by the tool with the rise of flow rate. It has been used in three deep and ultra-deep wells in Tahe Oilfield, the idea of self-excited vibration rotary percussion drilling tool is correct and feasible, the drilling tools can adapt a variety of bit types, lithologies, mud density and flow rates, resulting in the increase of penetration rate of 31.8%-80.5%. The tool features stable performance, simple operation, long service life and deferral of PDC bit wear, and can be popularized as an effective way to increase rate of penetration for deep and ultra-deep well drilling.

Key words: pulse jet; ultra-deep well; rotary percussion drilling; field test; penetration rate

目前,我国油气勘探开发正朝着深部地层发展,尤其是西部地区,深井、超深井逐渐增多,实际钻井中遇到的机械钻速低、钻井成本高等问题,成为制约深井、超深井钻探开发效率的“瓶颈”^[1-3]。研究与实践表明,在不增加地面设备能力的条件下,利用水力能量直接驱动井下工具是提高钻速的一种有效途径。脉冲射流与旋转冲击钻井就是直接利用水力能量实现钻井提速的方式,但是这 2 种实现方式都具有弱点。脉冲射流中的典型代表

自激振荡脉冲喷嘴,受钻头水眼尺寸的限制,对其结构进行优化可做的工作十分有限,调制产生的

收稿日期:2013-08-05;**改回日期:**2013-11-18。

作者简介:雷鹏(1983—),男,陕西渭南人,2007年毕业于中国石油大学(华东)机械设计制造及其自动化专业,在读博士研究生,主要从事高效破岩工具的开发与破岩机理研究。

联系方式:leipeng539@sina.com。

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:2010CB226703)资助。

脉冲幅值较小,在超深井中这种脉冲作用几乎可以忽略;旋转冲击钻井工具一般都设计有刚性撞击部件,这些部件受材料的限制,在实际应用中使用寿命往往不长^[4-7]。基于上述认识,笔者结合水力脉冲与冲击钻井的技术优势,研制了适合于深井、超深井钻井提速的自激振荡式旋冲钻井工具,并进行了 3 口井的现场试验。

1 自激振荡式旋冲钻井工具的结构与原理

自激振荡式旋冲钻井工具由下转换接头、驱动杆、缸套、壳体、自激振荡式水力脉冲发生器和上转换接头等部件组成(见图 1)。

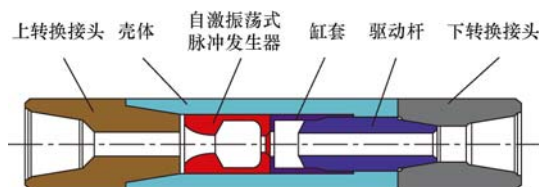


图 1 自激振荡式旋冲钻井工具结构

Fig. 1 Structure of self-excited vibration rotary percussion drilling tool

自激振荡式脉冲发生器位于该工具上部,当流体流入其腔室时,通过压力的振荡与反馈,将连续恒压高速流体转变成具有一定压力波动的流体后继续下行,进入驱动杆上部的腔室,来流压力波动在该腔室进一步放大,在近钻头附近形成周期性压力波动,产生的压力波动直接作用于驱动杆的顶面,对驱动杆形成一定的冲击力,并通过驱动杆的运动将冲击力传递至钻头;与此同时,来流脉动继续向下传递,通过钻头水眼喷出,形成脉冲射流^[8-9]。

自激振荡式旋冲钻井工具安装于钻头上方,工具在井下工作时,不仅将常规钻井中钻井液的连续流动调制成脉冲流动,而且向钻头施加周期性高频冲击力。所调制的脉冲射流有助于强化井底清洗,改善岩石的受力状态,减少井底液柱对岩石的压持效应,降低岩石的破碎强度^[10-11]。结合旋转钻井实际,在钻头上施加冲击力,形成旋转冲击钻井,增加钻头吃入岩石的深度,促进井底待破碎岩石裂缝的延伸与扩展,使其更容易形成体积破碎,提高破岩钻井速度。

2 试验测试

为了掌握该工具工作时的频率与脉动特性,进

行了井口测试,测试流程见图 2。采用丹麦 Brüel & Kjær 动态测试分析系统测试射流的冲击压力和钻头的冲击力。

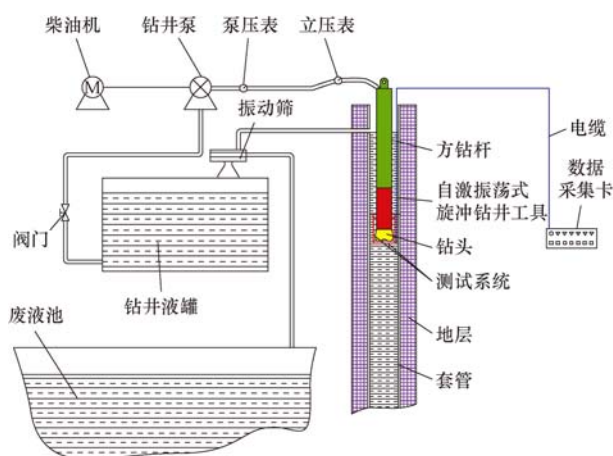


图 2 冲击压力现场测试流程

Fig. 2 Schematic diagram of field impact pressure test

试验测试了配接自激振荡式旋冲钻井工具后,不同排量下钻头喷嘴出口压力和钻头冲击力随时间的变化,试验结果见图 3。从图 3 可以看出,排量为 26.3、29.6 和 32.9 L/s 时,脉动压力分别为 0.52、1.40 和 2.30 MPa,冲击力分别为 5.3、11.0 和 21.0 kN;频率相近,为 42~47 Hz;压力损耗分别为 0.60、0.73 和 0.95 MPa。测试结果表明,安装自激振荡式旋冲钻井工具前,测试测压盘压力曲线波动小、较平稳;安装工具后测试曲线的波动幅度明显提高,且脉冲幅度、脉冲频率、压力损耗均随排量的增加有不同程度的增大,施加在钻头上的冲击力大小和频率与压力脉动的变化规律基本一致。

3 现场试验

自激振荡式旋冲钻井工具于 2011 年 10 月至 2012 年 6 月在塔河油田 3 口井进行了现场试验,采用在常规钻具与钻头之间安装自激振荡式旋冲钻井工具的钻具组合,其中 TH12370 井采用 BS1656XG 型 $\phi 250.9$ mm PDC 钻头,TH12528 井和 AT28 井分别采用 KS1653T 和 M1365SS 型 $\phi 215.9$ mm PDC 钻头。

2011—2012 年,塔河油田应用常规钻进方式的深井超深井平均机械钻速为 2.04 m/h,应用复合钻进方式的平均机械钻速为 2.80 m/h,而自激振荡式旋冲钻井技术的平均机械钻速为 2.88 m/h(见表 1)。按照地层相同、钻头相同、井深和钻井参数相近的原则对比,与常规钻进方式相比,使用自激振

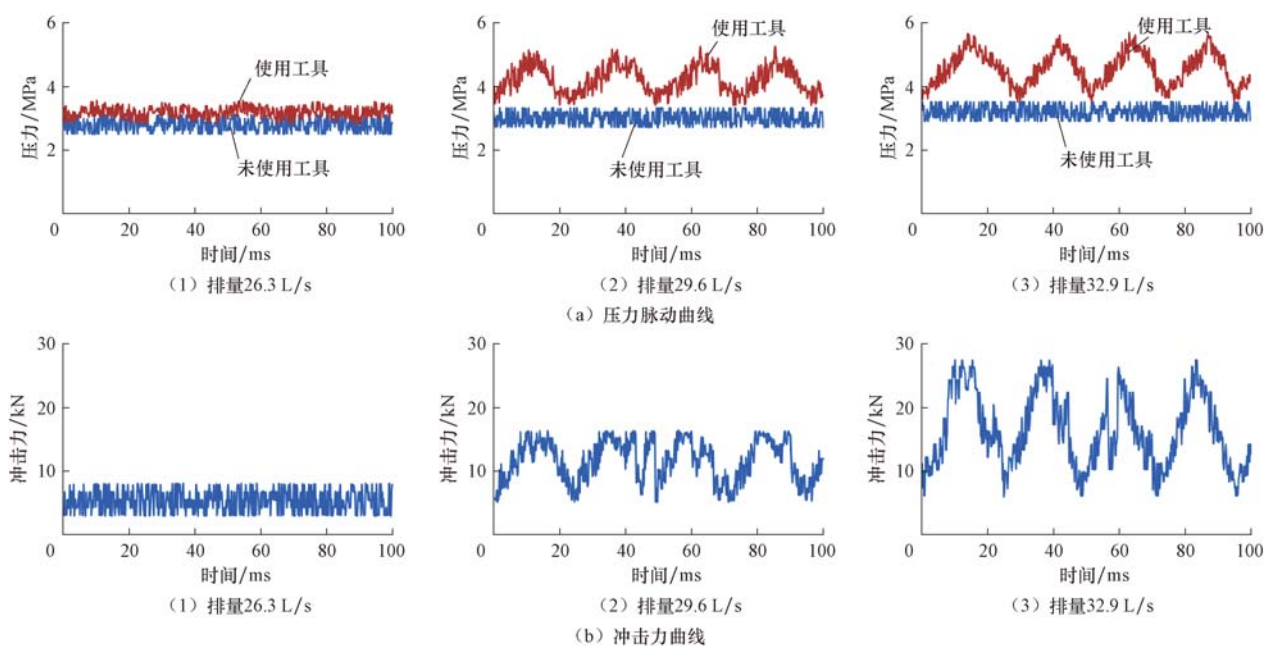


图 3 应用自激振荡式旋冲钻井工具前后测试曲线对比

Fig. 3 Comparison of test curves before and after installation of self-excited vibration rotary percussion drilling tool

表 1 自激振荡式旋冲钻井工具的提速效果

Table 1 ROP increase by rotary percussion drilling tool with self-excited vibration

井 型	井 号	井段/m	钻压/kN	钻井液密度/ ($\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$)	纯钻时间/h	机械钻速/ ($\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$)	钻进方式
应用井	AT28	5 705~6 584	60~100	1.30	338.2	2.60	自激振荡旋冲钻进
对比井	S107	5 449~6 173	60~80	1.32	504.0	1.44	常规钻进
应用井	TH12370	5 586~5 864	60~100		91.7	3.03	自激振荡旋冲钻进
对比井	TH12349	5 662~5 912	100	1.32	119.6	2.09	常规钻进
对比井	TH12348	5 605~5 884	80		108.1	2.58	复合钻进
应用井	TH12528	5 782~6 464	60~100	1.32	253.3	2.69	自激振荡旋冲钻进
对比井	TH12416	5 625~6 482	80~120	1.32	505.0	1.70	常规钻进

注:对比井均取自应用井地质设计上给出的邻井。

荡式旋冲钻井工具可提高机械钻速 31.8%~80.5%，缩短钻井周期 13~14 d，节约钻头 3 只；与复合钻进的 TH12514 井相比，机械钻速也有所提高，钻井周期缩短 4 d，节约钻头 1 只(见表 2)。

表 2 钻井周期对比

Table 2 Comparison of drilling time

井型	井号	牙轮钻头/ 只	PDC 钻头/ 只	螺杆/ 套	钻井周期/ d
应用井	TH12528	0	1	0	14
	TH12524	2	2	0	27
对比井	TH12416	2	2	0	28
	TH12514	1	1	1	18
应用井	AT28	0	1	0	34
对比井	S107	2	2	0	55

所试验 3 口井共使用工具 3 套，累计纯钻时间 683.2 h，除 TH12370 井因钻头堵水眼导致提前起

钻外，其余 2 口井的工具入井时间分别为 341 h 和 540 h，纯钻时间均超过了 250 h。

AT28 井与对比井 S107 井的钻时对比表明(见图 4)，应用自激振荡式旋冲钻井技术后，钻时大幅度缩短。起钻观察，工具结构均完整，表明其工作稳定、可靠、寿命长，能够满足现场施工要求。

现场试验还发现，使用自激振荡式旋冲钻井工具有助于减缓 PDC 钻头的磨损速度，延长钻头的使用寿命，增加钻头进尺。对比 TH12528 井使用前后的 KS1653T 型 PDC 钻头发现，在使用 253.3 h 后 PDC 复合片完好。其原因是，PDC 钻头破碎岩石并不是一个连续的过程，存在能量的聚集与瞬间释放，使得钻头在旋转过程中呈现出较大的速度波动；而在使用自激振荡式旋冲钻井工具后，在水力脉冲与冲击力的作用下，会促使岩石裂缝的延伸与扩

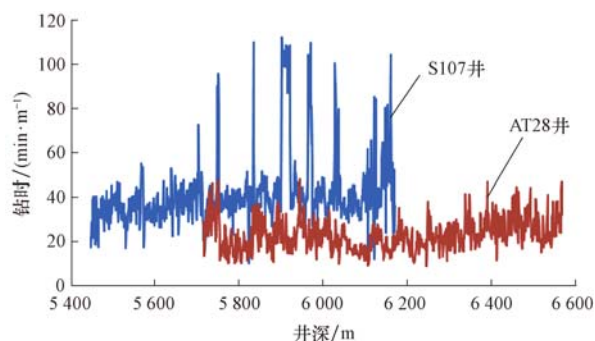


图4 应用井AT28井与邻井S107井钻时对比

Fig.4 Comparison of drilling time between Well AT28 and offset Well S107

展,降低其破碎强度,能量的释放与聚集不再明显,钻头的运动速度相对平缓^[12]。

现场试验表明,所研制的自激振荡式旋冲钻井工具结构合理可靠,可显著提高深井钻井速度,对不同地层和钻头类型均有较好的适应性。但是脉冲射流、冲击钻井结合常规钻井多因素相互耦合下的提速机理研究相对滞后,是下一步研究的重点。

4 结 论

1) 现场试验表明,自激振荡式旋转冲击钻井工具可有效提高深井、超深井机械钻速,验证了采用调制水力脉冲激发钻头振动方式研制该钻井工具的思路是正确、可行的。

2) 自激振荡式旋冲钻井工具与钻头、地层岩性和钻井参数等均具有良好的适应性。

3) 深入研究自激振荡式旋冲钻井辅助破岩的物理机制、并进一步优化工具结构,是自激振荡式旋冲钻井技术今后的研究方向。

参 考 文 献

References

- [1] 王成岭,李作宾,蒋金宝,等.塔河油田12区超深井快速钻井技术[J].石油钻探技术,2010,38(3):18-21.
Wang Chengling, Li Zuobin, Jiang Jinbao, et al. Fast drilling technology on ultra-deep wells in Block-12, Tahe Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(3): 18-21.
- [2] 倪红坚,韩来聚,马清明.水力脉冲诱发井下振动钻井工具研究[J].石油钻采工艺,2006,28(2):15-18.
Ni Hongjian, Han Laiju, Ma Qingming. Study on downhole vibration drilling tool induced by hydro pulse[J]. Oil Drilling &

Production Technology, 2006, 28(2): 15-18.

- [3] 郑述权,张帆,钟广荣.乐山-龙女寺古隆起震旦系超深井快速钻井技术[J].天然气工业,2013,33(7):74-79.
Zheng Shuquan, Zhang Fan, Zhong Guangrong. Fast drilling technology of ultra deep wells in the Sinian reservoirs in the Leshan-Longnvsi Palaeohigh, Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2013, 33(7): 74-79.
- [4] Crow S C. A theory of hydraulic rock cutting[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 1973, 10 (6): 567-584.
- [5] 史怀忠,李根生,王学杰,等.水力脉冲空化射流欠平衡钻井提高钻速技术[J].石油勘探与开发,2010,37(1):111-115.
Shi Huaizhong, Li Gensheng, Wang Xuejie, et al. Improving the rate of penetration by hydraulic pulsating-cavitating water jet under-balance pressure drilling[J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(1): 111-115.
- [6] 熊继有.脉冲射流喷嘴的清岩与破岩机理[J].天然气工业,1995,15(2):38-40.
Xiong Jiyou. The mechanism of clearing away cuttings and breaking rocks using pulse jet nozzle[J]. Natural Gas Industry, 1995, 15(2): 38-40.
- [7] 王克雄.冲击旋转钻井技术在石油钻井中的应用[J].石油钻采工艺,1999,21(5):5-9.
Wang Kexiong. Research and application of percussion rotary drilling technology in petroleum drilling[J]. Oil Drilling & Production Technology, 1999, 21(5): 5-9.
- [8] 王瑞和,倪红坚,周卫东.破岩钻井方法及高压水射流破岩机理研究[J].石油钻探技术,2003,31(5):7-10.
Wang Ruihe, Ni Hongjian, Zhou Weidong. The study on drilling method and rock breaking mechanism by high pressure water jet[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2003, 31(5): 7-10.
- [9] Kolle J J. Increasing drilling rate in deep boreholes by impulsive depressurization//Pacific rocks 2000[C]. North American Rock Mechanics Symposium, 2000: 19-26.
- [10] 王瑞和,倪红坚.高压水射流破岩钻孔过程的理论研究[J].石油大学学报:自然科学版,2003,27(4):44-46.
Wang Ruihe, Ni Hongjian. Theoretical study on rock break-off process during high-pressure water jet drilling[J]. Journal of the University of Petroleum, China: Edition of Natural Science, 2003, 27(4): 44-46.
- [11] 倪红坚,王瑞和.脉冲射流破岩规律的数值实验[J].石油钻探技术,2002,30(6):15-17.
Ni Hongjian, Wang Ruihe. Numerical experimental study on rock breaking with pulse water jet[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2002, 30(6): 15-17.
- [12] 祝效华,汤历平,童华.高频扭转冲击钻进的减振与提速机理研究[J].振动与冲击,2012,31(20):75-78.
Zhu Xiaohua, Tang Liping, Tong Hua. Rock breaking mechanism of a high frequency torsional impact drilling[J]. Journal of Vibration and Shock, 2012, 31(20): 75-78.

[编辑 滕春鸣]