

## 水力振荡器的研制与现场试验

李 博

(中国石油大庆钻探工程公司钻井工程技术研究院,黑龙江大庆 163413)

**摘 要:**为了解决水平井钻进过程中摩阻大、托压的问题,提高水平井钻井效率,研制了水力振荡器。依据机械振动理论,井下钻具在一定频率轴向振动时,可以将钻具与井壁之间的静摩擦转变为动摩擦,且动摩擦力小于静摩擦力;水力振荡器是以钻井液作为动力源,驱动振荡器轴向运动带动井下钻柱沿轴向振动。在卫186-平142井进行了水力振荡器现场试验,进尺501.00 m,累计工作时间96 h,托压减小20~40 kN,滑动钻进36.77 m,机械钻速提高54.9%,复合钻进464.23 m,机械钻速提高23%。现场试验结果表明,应用水力振荡器钻进时能够降低水平井摩阻,减小托压,提高机械钻速。

**关键词:**水平井 振荡器 摩阻 轴向振动

**中图分类号:**TE921<sup>+</sup>.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0890(2014)01-0111-03

## Development and Pilot Test of Hydro-Oscillator

Li Bo

(Drilling Engineering Technology Research Institute, Daqing Drilling Engineering Company, Daqing, Heilongjiang, 163413, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of high friction and backing pressure in the process of horizontal well drilling, and improve the efficiency of horizontal well drilling, the hydro-oscillator was developed. Based on the theory of mechanical vibration, downhole equipment would transfer static friction into kinetic friction between the drilling tools and borehole wall when the axial vibration is at a certain frequency, and the kinetic friction is smaller than static one. Hydro-oscillator uses drilling fluid as the driving force to drive the creep of drilling tool along the axial direction. It has been tested in Well Wei 186-Ping 142 and drilled 501.00 m in 96 hours. Drag force reduced 20~40 kN less than the normal, sliding was 36.77 m, ROP improved by 54.9%, and complex drilling was 464.23 m, ROP improved by 23%. The field test showed that the hydro-oscillator could reduce friction and backing pressure so as to improve penetration rate and reduce drilling cycle.

**Key words:** horizontal well; oscillator; friction; axial vibration

近年来,随着钻井技术的不断发展,大位移井、长水平段水平井的数量越来越多。水平井钻进过程中,摩阻大、托压等问题不仅严重影响了水平井的机械钻速,也容易引起压差卡钻等井下故障,尤其是在滑动钻进时,无法给钻头施加真实有效的钻压,降低了钻井效率,延长了建井周期<sup>[1]</sup>。为了解决该问题,先后开展了优化井眼轨道、加入井筒润滑剂、应用滚动扶正器等方面的研究与试验,但都没有完全解决长水平段摩阻大、托压的问题。为此,笔者开展了水力振荡器的研制,利用机械振动的原理,将钻具与井壁之间的静摩擦转变为动摩

擦,从而降低摩阻,减小托压。

### 1 方案设计

#### 1.1 设计思路

水力振荡器的主要设计思路是,将钻井液作

收稿日期:2013-02-25;改回日期:2014-01-02。

作者简介:李博(1984—),男,黑龙江双鸭山人,2007年毕业于大庆石油学院机械设计制造及其自动化专业,工程师,主要从事钻井固井工具研究。

联系方式:(0459)4893674,libo028@cnpc.com.cn。

为动力源,将液体能量转变为高速旋转的机械能,通过脉冲压力发生机构将高速旋转的机械能转变为高频压力脉冲,压力脉冲作用到工具的振动机构上,脉冲压力与回复弹簧共同作用,使其产生轴向高频振动<sup>[2]</sup>。

## 1.2 工作原理

水力振荡器主要由振动短节、密封总成、弹簧机构、动力机构和阀门总成等部分组成(见图 1)。

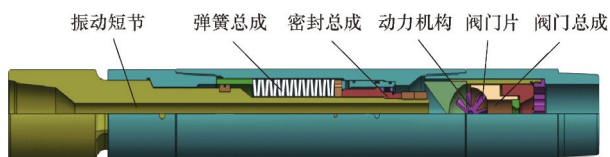


图 1 水力振荡基本器结构

Fig. 1 Structure of hydro-oscillator

钻井液流经动力机构,驱动动力机构的叶轮高速旋转,叶轮带动阀门片旋转,阀门片与阀门定子间隙配合,阀门片垂直轴向方向时,阀门片将钻井液通道关闭,产生最大压降,阀门片继续转动至平行轴向方向时,钻井液通道打开,流通面积最大,产生最小压降,阀门片旋转一周,钻井液通道关闭 2 次,产生 2 次憋压。阀门片在高速旋转过程中,实现通道的打开和关闭,产生周期压力脉冲<sup>[3]</sup>。

阀门总成产生的压力脉冲通过滑动密封总成作用到振动机构的弹簧上。由于压力周期性变化,在压力最大时,振动心轴伸出,压缩弹簧并储存能量;当压力最小时,弹簧回复,振动心轴缩回,振动心轴在压力和弹簧的双重作用下产生轴向往复运动,使井下钻具在水力振荡器带动下轴向振动<sup>[3]</sup>。弹簧被压缩,储存能量,当弹簧回复施放能量时,对钻头方向有一定的冲击力,可以有效地传递钻压<sup>[4-5]</sup>。水力振荡器的振动频率为 16~20 Hz,在该振动频率下,钻具的滑动摩擦可以减小 75%~80%<sup>[6]</sup>。

阀门片与阀门定子憋压过程中钻井液通道变小,流速增大,易被冲蚀,因此在加工阀门片与阀门定子时,在其表面喷涂耐磨、抗冲蚀材料来提高表面硬度,延长阀门总成寿命<sup>[7]</sup>。

## 1.3 工具性能参数

研制的水力振荡器适用于  $\phi 215.9$  mm 井眼,工具性能参数见表 1,其中工具两端扣型为 411-410 钻杆扣。

## 2 室内模拟试验

根据高频振动降低摩擦的机理,进行了振动模

表 1 水力振荡器性能参数

Table 1 Performance parameters of the hydro-oscillator

参数	数值	参数	数值
适合井眼尺寸/mm	215.9	质量/kg	430
工具最大外径/mm	180.0	振动频率/Hz	16~20
最小循环通径/mm	45.0	振幅/mm	3~8
总长/mm	2 901	压降/MPa	2~3
有效长度/mm	2 787		

拟试验,主要测试水力振荡器振动性能,分析其结构参数和工作参数对振动频率和振幅的影响,为确定工具参数和钻井参数提供依据<sup>[8-9]</sup>。

组装好的水力振荡器两端分别与钻井泵的进、回水管线连接,在水力振荡器上连接压力传感器,进行压力脉冲监控;在水力振荡器的振动短节上安装振动传感器,测量工具的振动频率和振幅(见图 2)。

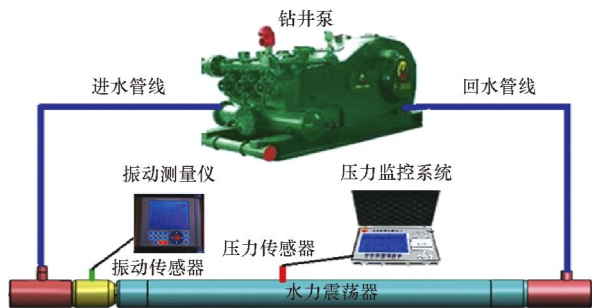


图 2 室内模拟试验流程

Fig. 2 Flow of simulation experiment

开启钻井泵进行清水循环,排量达到 15 L/s 时工具开始振动,随着排量的增大,振动频率和振幅逐渐升高,当达到设计排量 30 L/s 时,水力振荡器的振动频率达到 20 Hz,振幅 5.2 mm,泵压 2.7 MPa,满足设计要求(见表 2)。测量的振动频率与压力脉冲频率相一致,且经过长时间的循环试验,水力振荡器振动稳定。

表 2 振动试验测量数据

Table 2 Measured data of vibration test

序号	排量/ (L · s <sup>-1</sup> )	振动频率/ Hz	振幅/ mm	泵压/ MPa
1	15	10	1.8	1.0
2	20	12	2.4	1.5
3	23	14	3.1	1.7
4	25	16	3.9	2.1
5	28	18	4.4	2.4
6	30	20	5.2	2.7

试验结果表明:1)水力振荡器在设计排量下能够产生高频率、低振幅振动,证明其结构原理可行;

2) 水力振荡器产生的压力脉冲与其振动频率一致, 表明其振动频率与压力脉冲频率相匹配; 3) 长时间的循环试验未出现故障, 证明水力振荡器的振动稳定性符合设计要求。

### 3 现场试验

卫 186-平 142 井位于大庆油田芳 5-5 区块, 设计井深 2 155.00 m, 水平段长 529.58 m, 在该水平段钻进过程中进行了水力振荡器现场试验。钻具组合为: PDC 钻头+1.25°螺杆钻具+箭形止回阀+LWD+无磁加重钻杆+水力振荡器+18°斜坡钻杆×93 根+加重钻杆×36 根+钻杆。

卫 186-平 142 井钻至井深 1 639.00 m 时, 井斜角 88.7°, 方位角 90.0°, 进入水平段钻进。水平段下钻前, 进行了水力振荡器连接近钻头定向仪器的井口测试和检测, 排量为 30 L/s 时, 水力振荡器的振动频率 16 Hz, 振幅 4 mm, 压降 2 MPa, 其对近钻头定向仪器信号无干扰。水平段钻进时, 水力振荡器连接在距钻头 34 m 处, 泵排量 30~32 L/s, 泵压 17~18 MPa, 钻井液密度 1.22 kg/L, 滑动钻进时钻压控制在 40~60 kN。在钻进过程中, 工具面稳定, 近钻头定向仪器信号传输正常, 未发生干扰现象。

该井共使用水力振荡器钻进 501.00 m, 累计工作时间 96 h, 其中滑动钻进 36.77 m, 平均机械钻速 5.36 m/h, 钻速提高 54.9%; 复合钻进 464.23 m, 平均机械钻速 13.76 m/h, 钻速提高 23.0%, 摩阻减小 20~40 kN。

现场试验表明, 水力振荡器各项性能指标满足现场施工要求, 降低摩阻和提高机械钻速效果显著, 其与定向仪器连接使用不影响仪器信号传输。水力振荡器在出井后, 拆卸检查, 发现除了动力部分的叶轮转子、定子等部分零件有冲蚀现象外, 其他零件均未损坏, 需进一步增强动力部分零件的耐冲蚀性能。

### 4 结论及建议

1) 在水平井钻进过程中, 井下钻具以一定频率和幅度进行轴向振动, 可以降低钻具与井壁之间的摩阻, 减小托压。

2) 水力振荡器现场试验表明, 同一井段的滑动钻进机械钻速和复合钻进机械钻速均有不同程度的提高, 钻进摩阻减小, 可在水平井钻井中推广

应用。

3) 应进一步提高水力振荡器部分零件的耐冲蚀性能, 延长其使用寿命, 更好地发挥其提速作用。

### 参 考 文 献

#### References

- [1] 陶兴华. 提高深井钻井速度的有效技术方法[J]. 石油钻采工艺, 2001, 23(5): 4-8.  
Tao Xinghua. Effective measures for improving the penetration rate of deep well[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2001, 23(5): 4-8.
- [2] 李博, 王羽曦, 孙则鑫, 等.  $\phi 178$  型水力振荡器研制与应用[J]. 石油矿场机械, 2013, 42(8): 55-57.  
Li Bo, Wang Yuxi, Sun Zexin, et al. Development and application of  $\phi 178$  hydro-oscillator[J]. Oil Field Equipment, 2013, 42(8): 55-57.
- [3] 丁培积, 陈天成, 刘嘉铭, 等. 水平井水力加压工具及其应用[J]. 石油钻探技术, 1995, 23(3): 41-43.  
Ding Peiji, Chen Tiancheng, Liu Jiaming, et al. Hydraulic pressurizing tool for horizontal well and its application[J]. Petroleum Drilling Techniques, 1995, 23(3): 41-43.
- [4] 陶兴华. 液动射流式冲击器工作数学模型建立[J]. 石油钻探技术, 2005, 33(1): 44-47.  
Tao Xinghua. A mathematic model of hydraulic percussion tool[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2005, 33(1): 44-47.
- [5] 杨顺辉, 陶兴华, 殷琨, 等. 计算流体动力学在冲击器设计和模拟中的应用[J]. 石油钻探技术, 2008, 36(5): 40-42.  
Yang Shunhui, Tao Xinghua, Yin Kun, et al. Application of CFD on design and simulation of hydro-dfflux hammer[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(5): 40-42.
- [6] 徐小荷, 余静. 岩石破碎学[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1987: 10-30.  
Xu Xiaohe, Yu Jing. Rock crush theory[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1987: 10-30.
- [7] 王敏生, 王智锋, 李作会, 等. 水力脉冲式钻井工具的研制与应用[J]. 石油机械, 2006, 34(5): 27-28.  
Wang Minsheng, Wang Zhifeng, Li Zuohui, et al. Development and application of a hydraulic-pulse drilling tool[J]. China Petroleum Machinery, 2006, 34(5): 27-28.
- [8] 倪红坚, 韩来聚, 马清明, 等. 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): 15-17.  
Ni Hongjian, Han Laiju, Ma Qingming, et al. Study on down-hole vibration drilling induced by hydraulic-pulse[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2006, 28(2): 15-17.
- [9] 闫光庆, 张金成. 中国石化超深井钻井现状与发展建议[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.