

## 国内外水力振荡器的研究现状及展望

明瑞卿<sup>1</sup>, 张时中<sup>2</sup>, 王海涛<sup>3</sup>, 洪 毅<sup>4</sup>, 姜书龙<sup>1</sup>

(1. 长江大学石油工程学院, 湖北武汉 430100; 2. 中石化河南石油工程有限公司, 河南郑州 450018; 3. 中国石油塔里木油田分公司, 新疆库尔勒 841000; 4. 东北煤田地质局, 辽宁沈阳 110013)

**摘 要:** 针对目前定向井段和水平段钻进过程中为提高机械钻速使用水力振荡器出现的问题, 分析了水力振荡器的研究现状与现场应用状况。首先介绍了国内外不同水力振荡器的结构, 分析了其优缺点; 然后结合现场资料, 通过实例对比了水力振荡器和旋转导向钻井工具的提速效果; 最后针对水力振荡器在应用时出现的一系列问题给出了相关建议。现场应用效果统计资料表明, 水力振荡器能降低摩阻, 提高机械钻速, 缩短钻井周期, 降低钻井成本, 与旋转导向工具相比, 机械钻速可提高 29.8%, 钻井成本可降低 38 万元。但存在实际工作排量达不到设计要求、安放位置不合理、自身压耗高、损坏 MWD 等精密仪器和耐冲蚀性偏差等问题, 严重影响了水力振荡器的应用。为解决这些问题, 需要对水力振荡器进行持续完善和改进。

**关键词:** 水力振荡器 机械钻速 摩擦损失 排量 研究现状 发展建议

**中图分类号:** TE921 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-0890(2015)05-0116-07

## Research Status and Prospect of Hydraulic Oscillator Worldwide

Ming Ruiqing<sup>1</sup>, Zhang Shizhong<sup>2</sup>, Wang Haitao<sup>3</sup>, Hong Yi<sup>4</sup>, Jiang Shulong<sup>1</sup>

(1. School of Petroleum Engineering, Yangtze University, Wuhan, Hubei, 430100, China; 2. Sinopec Henan Oilfield Service Corporation, Zhengzhou, Henan, 450018, China; 3. PetroChina Tarim Oilfield Company, Korla, Xinjiang, 841000, China; 4. Northeast Coalfield Geological Bureau, Shenyang, Liaoning, 110013, China)

**Abstract:** Because drilling problems can occur when hydraulic oscillators are used to increase the rate of penetration (ROP) in directional and horizontal section drilling, the application and research status of hydraulic oscillators were studied. Firstly, analysis was performed on various hydraulic oscillators in other parts of the world to determine advantages and disadvantages based on their structures. Then, a comparison study was carried out on the velocity improvement between hydraulic oscillators and rotary steering tools based on their field application. And finally, a series of recommendations were proposed. Hydraulic oscillators can decrease friction, improve ROP, shorten drilling cycle and reduce drilling cost. Compared with rotary steering tools, hydraulic oscillators can increase ROP by 29.8% and reduce drilling cost by RMB 380 000 Yuan. In practical operation, however, the application of the hydraulic oscillators is strongly influenced by improper pumping rate and tools setting, and due to its high pressure consumption, precision instruments (e. g. MWD) may be damaged and resistance to erosion is not satisfactory. In order to solve these problems, it is necessary to continuously improve hydraulic oscillators.

**Key words:** hydraulic oscillator; rate of penetration; friction loss; displacement; research status; recommendations

自 20 世纪 80 年代以来, 井下动力钻具由于具有提高机械钻速、增加单只钻头进尺、实现井眼轨迹定向控制等诸多优点, 在定向井中的应用越来越多。随着各大油田开发的逐渐深入, 大斜度井、水平井、多分支水平井等复杂结构井数量越来越多, 如何实现快速钻进和提高水平段长度成为关注的焦点。然而, 由于井斜角较大造成钻柱和井壁之间的摩擦阻较

收稿日期: 2015-02-06; 改回日期: 2015-08-24。

作者简介: 明瑞卿(1989—), 男, 湖北荆州人, 2013 年毕业于长江大学石油工程专业, 在读硕士研究生, 主要从事钻井工艺与技术方面的研究。

联系方式: 18571510329, 411478802@qq.com。

基金项目: 国家科技重大专项“海相碳酸盐岩油气井井筒关键技术”(编号: 2011ZX05005-006)资助。

大, 钻压传递效率低, 严重限制了钻进速度。

自 2000 年以来, 国内外各大研究机构研制了各种样式的水力振荡器, 并广泛应用于国内外各大油田的定向井段和水平段钻井施工中, 在取得一定提速效果的同时, 也暴露出该工具的诸多问题。针对这些问题, 笔者分析了国内外水力振荡器的研究现状, 总结了该工具在国内各区块的应用情况, 最后针对国内外水力振荡器现场应用中存在的问题提出了具体的发展建议。

## 1 国内外研究现状

自 20 世纪 90 年代以来, 国外多家石油公司都致力于水力振荡器研究, 目前国外水力振荡器提速技术已经比较成熟。其中, 具有代表性并已经被商业化应用的是美国国民油井华高公司(National Oilwell Varco, 简称 NOV)研发生产的水力振荡器(以下简称 NOV 水力振荡器), 该水力振荡器最初被应用于连续管钻井中, 但由于降摩效果较好, 其应用范围逐渐扩大到大斜度井、水平井、多分支水平井钻井中<sup>[1-4]</sup>。与国外相比, 国内水力振荡器的研究起步相对较晚, 但发展速度较快, 自 2006 年以来, 在短短不到 10 年内, 国内已成功研制了近 10 种水力振荡器, 有的已投入商业化应用。

### 1.1 NOV 水力振荡器

**结构与工作原理** NOV 水力振荡器一般由振荡短节、动力短节、阀门和轴承系统组成(见图 1), 靠周期性变化的流体压力, 带动活塞做轴向往复运动(其主要技术参数见表 1)。该水力振荡器结构简单, 可与钻杆直接连接。其工作原理是: 当钻井液经过动力短节时, 驱动螺杆旋转, 螺杆末端固定阀盘的过流孔设置在中心, 与有偏心过流孔的振荡阀盘紧密配合, 由于转子旋转, 2 个阀盘的过流孔发生周期性交错和重合, 使工具下端过流面积发生周期性变化, 导致工具上部压力产生周期性变化, 形成脉冲压力。当压力升高时, 钻井液压力推动活塞和心轴压缩碟簧组, 心轴伸出; 而当压力降低时, 心轴回到原位, 这样, 脉冲压力就引起了工具的轴向振动, 改变钻柱与井壁的摩擦条件, 达到降低摩阻和提速的目的。

**主要优缺点** 1) 造斜段和水平段提速明显。水力振荡器安装在钻柱中, 使滑动钻进时钻柱和井壁之间的静摩擦转变为动摩擦, 摩擦阻力降低 75%~

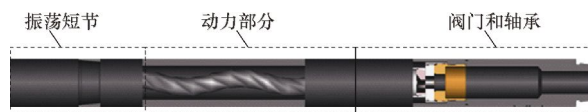


图 1 NOV 水力振荡器的结构

Fig. 1 Structural sketch of NOV hydraulic oscillators

表 1 NOV 水力振荡器的主要技术参数

Table 1 Main technical parameters of NOV hydraulic oscillators

工具外径/mm	推荐排量/(L·s <sup>-1</sup> )	温度/℃	工作频率/Hz	工作压力差/MPa	最大负载/kg
85.7	4.5~7.0	150	26	3.1~4.8	83 636
95.2	4.5~7.0	150	26	3.4~4.8	113 636
120.6	7.5~13.5	150	18~19	3.8~4.5	160 909
171.4	20.0~30.0	150	16~17	4.1~4.8	315 000
203.2	25.0~50.0	150	16	4.1~4.8	450 000
244.5	30.0~55.0	150	12~13	3.4~4.8	572 727

80%。2) 定向效果好。可防止钻压堆积, 精确控制工具面。3) 工作寿命较短。影响水力振荡器寿命的主要部件是其动力总成, 工具产生脉冲压力的同时, 对零件冲蚀严重。4) 井斜角大于 60°, 水平位移超过 1 000.00 m 时, 钻速降低明显。5) 对 LWD 仪器的信号采集有影响。长时间的高频振动会影响 LWD 内部零件的连接, 导致连接零件松动甚至被振断, 最终因连接断路影响信号采集。

### 1.2 水力脉冲诱发振动钻井工具

**结构与工作原理** 水力脉冲诱发振动钻井工具由钻头与钻柱连接短节、壳体、钻头驱动杆、缸套、水力振荡器组成(见图 2), 其中钻头驱动杆和水力振荡器分别设有密封元件, 防止在工作时有钻井液渗出。其主要技术参数: 钻压 70~80 kN, 推荐排量 30~32 L/s, 泵压 17 MPa, 工作频率 23 Hz。其工作原理是: 通过适当的能量转换机构, 将钻井液的部分动能周期性转化为破碎井底岩石的冲击能量, 钻头工作时径向旋转和轴向振动相结合, 而且水力脉冲可以改变井底岩石的受力状态, 同时可以提高井底清洁效果, 极大地提高钻头的破岩效率<sup>[5-6]</sup>。

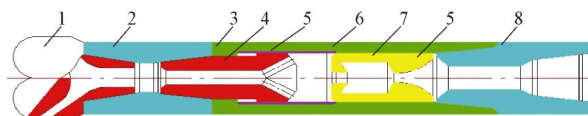


图 2 水力脉冲诱发振动钻井工具的结构

Fig. 2 Structural sketch of pulse induced vibration drilling tool

1. 钻头; 2. 钻头连接短节; 3. 壳体; 4. 钻头驱动杆;

5. 密封元件; 6. 缸套; 7. 水力振荡器; 8. 钻柱连接短节

**主要优缺点** 1)综合了振动冲击和水力脉冲的优势,提高了钻头的破岩效率;2)采用水力脉冲直接诱发机械振动,与旋转冲击钻井中的冲击锤等中间部件相比,结构简单,研制和应用成本低,安全性和可靠性高;3)适应性不佳,应用地层受限,目前该工具不适合钻进较坚硬的地层;4)耐冲蚀性较差,水力结构易损坏。

### 1.3 自激振荡式旋转冲击钻井工具

**结构与工作原理** 自激振荡式旋转冲击钻井工具由钻柱连接短节、自激振荡器、冲击传递杆和钻头驱动连接短节等4部分组成,其中自激振荡器包含一级和二级2种振荡器(见图3)。主要技术参数:应用井深不大于6 000.00 m,适用于 $\phi 152.4 \sim \phi 406.4$  mm井眼,钻压40.0~140.0 kN,转速60~120 r/min,泵压16~25 MPa,推荐排量20~60 L/s,振动频率45~50 Hz,钻井液密度1.1~1.7 kg/L,压力损耗约0.5 MPa,工作寿命超过200 h。其工作原理是:流体经过该工具内的一级和二级自激振荡器的转化,在二级振荡器出口形成水力脉动压力,经过钻头驱动杆转化为对钻头的机械振动冲击,同时脉动压力继续往下,在井底形成脉冲射流,在振动冲击与脉冲射流联合作用下,改变井底岩石的受力情况,强化对井底岩屑的清洗,提高破岩钻进效率<sup>[7-9]</sup>。

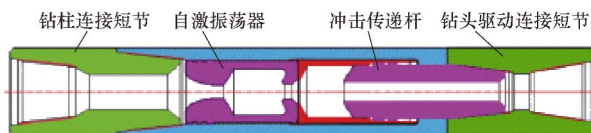


图3 自激振荡式旋转冲击钻井工具的结构

Fig. 3 Structural sketch of self-excited oscillating rotary percussion drilling tools

**主要优缺点** 1)该工具主要用性能较高的合金钢制造,整体强度与钻具基本相当;2)密封元件耐酸、碱、油,耐温高达200℃;3)根据声学原理设计,没有活动零件,高压钻井液进入水力振荡器后,经过谐振“反馈”选频及放大等自激振荡过程,形成水力脉冲射流;4)结合振动冲击、水力脉冲和射流破岩的优势,进一步增强破岩提速效果;5)耐冲蚀性强,钻头驱动杆顶端和水力振荡器的出入口等受钻井液固相冲蚀强烈部位,选用硬质合金等耐磨材料,并采用局部淬火“氮化”激光熔覆等表面强化技术;6)水力脉冲具有高频率、小幅度的特点,适用于任何钻具组合与钻头,安全性高;7)自身压耗较低(约1.0 MPa),避免钻井泵在高压下作业带来不必要的损失;8)由

于采用优化的水力结构和高耐磨材料,使用寿命大于200 h,可通过更换水力元件,延长其使用寿命;9)目前该工具只能用于直井段,极大地限制了其应用范围。

### 1.4 轴向水力振荡器

**结构与工作原理** 轴向水力振荡器一般由动力部分、阀门与轴承系统、振动部分等3部分组成,主要技术参数见表2。其工作原理与NOV水力振荡器类似,不同时刻阀门过流面积发生周期性变化,从而产生水力脉冲,带动工具的振动部分在轴向上做周期性的伸缩运动,改变钻杆和井壁之间的摩擦方式,提高钻进效率<sup>[10-13]</sup>。

表2 轴向水力振荡器的主要技术参数

Table 2 Main technical parameters of axial hydraulic oscillators

产地	适合井径/mm	工具最大外径/mm	振动频率/Hz	振幅/mm	压降/MPa	推荐排量/(L·s <sup>-1</sup> )
大庆	215.9	180	16~20	3~8	2~3	25~32
胜利	215.9	172	15	3~9	3~4	10~30
中石化装备部	215.9	172	18	3~7	4~5	16~22

**主要优缺点** 1)静摩擦转变为动摩擦,防止钻压堆积、钻柱屈曲、钻头黏滑和丢失工具面的发生,有助于提高钻进效率;2)与各种钻头均配合良好,且带动钻头在轴向上做有规律的往复运动,可有效减小横向与扭转振动,保护钻头,延长钻头的使用寿命;3)对MWD和LWD仪器无影响;4)定子、叶轮转子等部分零件在工作中冲蚀严重,工具耐冲刷性能偏弱;5)在三维扭方位钻进时,提速效果不明显。

### 1.5 径向水力振荡器

**结构与工作原理** 径向水力振荡器一般主要由激振机构单元、动力单元及旋转密封单元组成,其中动力单元的核心部件是螺杆马达,激振机构单元由偏心轴、外筒、密封总成、轴承以及下部转换接头等组成(见图4)。其主要技术参数:可用于 $\phi 152.4$  mm井眼,工具最大外径121.0 mm,配合 $\phi 88.9$  mm钻杆使用,激振力0.6~1.4 kN,推荐排量10~15 L/s,振动频率10~25 Hz,压耗1.2 MPa。其工作原理是:当高压钻井液通过径向水力振荡器时,马达开始工作,在马达主轴的带动下,偏心轴发生旋转,从而产生激振力,方向是由偏心轴偏心质量重心位置指向偏心轴中心线,并随着偏心轴的旋转而旋转,激振力



带动与径向水力振荡器相连接的上部钻杆和下部钻杆产生周期性径向振动<sup>[14-15]</sup>。

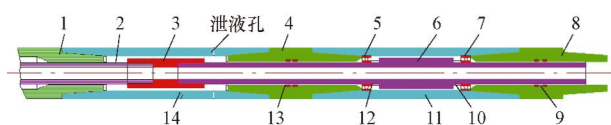


图 4 径向水力振荡器的结构

Fig. 4 Structural sketch of radial hydraulic oscillators

1. 马达外壳; 2. 马达主轴; 3. 旋转接头; 4. 上部双外接头;
5. 上部轴承; 6. 偏心轴; 7. 下部轴承; 8. 下部转换接头;
9. 下部密封总成; 10. 下部定位套筒; 11. 下部外筒;
12. 上部定位套筒; 13. 上部密封总成; 14. 上部外筒

**主要优缺点** 1) 周期性减少钻杆对井壁的正压力, 从而降低摩擦力, 钻压能更有效地传递给钻头; 2) 采用较成熟的螺杆马达, 其结构不影响流体传递, 故对 MWD 仪器无影响; 3) 结构简单, 零部件较少, 安装、拆卸方便; 4) 目前该工具对于井斜角小于  $60^\circ$  的造斜段应用效果明显, 但对于井斜角大于  $60^\circ$  的造斜段和水平段托压现象依然严重。

## 1.6 双向水力振荡器

2014 年, 川庆钻探工程有限公司长庆钻井总公司结合轴向水力振荡器和径向水力振荡器的技术特点, 成功研制出井下钻柱三维水力振荡器(俗称双向水力振荡器)。

**结构与工作原理** 双向水力振荡器主要由轴向水力振荡器和径向水力振荡器 2 部分组成, 其中轴向水力振荡器必须配合径向振荡器使用, 径向水力振荡器可以单独入井使用。

径向水力振荡器主要由动力部分和变流阀组成。其工作原理是: 当钻井液从上端入口进入马达时, 转子在定子腔内作圆周运动, 产生离心惯性力带动定子产生径向振动, 变流阀在工作时, 使流经钻柱钻井液的体积发生变化, 从而形成水力液压脉冲。

轴向水力振荡器一般由活塞、心轴、碟簧组成。其工作原理是: 当轴向水力振荡器在工作状态下, 由径向振荡器产生的液压脉冲作用于活塞, 心轴上的碟簧被压缩, 导致轴向水力振荡器产生轴线方向上的振动<sup>[16]</sup>。

**主要优缺点** 1) 双向水力振荡器工作时, 钻杆在径向上的正压力减小, 轴向上的摩擦方式发生改变, 摩擦力大大降低, 钻进效率明显提高; 2) 不影响 MWD 仪器正常使用, 使用寿命较长; 3) 最终使用效果受安放位置影响较大, 需探寻最合适的

安放位置。

## 1.7 自激振荡脉冲粒子射流钻井工具

除了上述几类水力振荡器产品外, 最近中国石油集团钻井工程技术研究院研制出了专门用于侧钻水平段的自激振荡脉冲粒子射流钻井工具, 目前仍处于工具结构优化的试验阶段。

**结构与工作原理** 自激振荡脉冲粒子射流钻井工具主要由钻头、下接头、风琴管、自激振荡腔衬套、双锥度喷嘴、壳体 and 上接头组成(见图 5)。其工作原理是: 在钻井过程中, 高压流体经过钻杆进入壳体内部的双锥度喷嘴, 经过喷嘴加速后形成高速射流, 因为射流具有吸卷作用, 在自激振荡腔内形成低压区, 并伴随一定的脉动压力, 在压差作用下, 壳体的粒子吸入口将环空中的钢制粒子吸入其内部, 与钻井液充分混合形成粒子脉冲射流, 通过风琴管的作用放大脉冲, 再由钻头水眼高速喷出, 作用于井底岩石<sup>[17]</sup>。

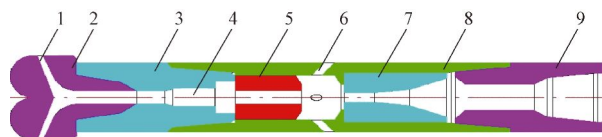


图 5 自激振荡脉冲粒子射流钻井工具的结构

Fig. 5 Structural sketch of self-oscillation pulse particle-water jet drilling tools

1. 水眼; 2. 钻头; 3. 下接头; 4. 自激振荡腔衬套; 5. 双锥度喷嘴;
6. 环空粒子入口; 7. 双锥度喷嘴; 8. 壳体; 9. 上接头

**主要优缺点** 1) 钢制粒子与脉冲射流对井底岩石进行打磨和高频率冲击, 降低岩石破碎所需最大压力, 使岩石更容易破碎; 2) 该工具结合自激振荡脉冲射流技术与粒子冲击钻井技术, 钢制粒子自吸效果好, 压力脉冲幅度大, 能大幅提高坚硬地层的破岩效率。

## 2 现场应用分析

### 2.1 应用优势

**提速效果明显** 水力振荡器作为一种降摩阻、防托压、提钻速的有效工具, 近年来在国内各区块得到了广泛应用。表 3 为各地区水力振荡器的应用情况统计。由表 3 可知, 应用水力振荡器后, 各地区滑动钻进速度均有显著提升, 钻井周期均缩短了 10% 以上, 大大加快了整体施工进度。

表3 水力振荡器应用情况统计

Table 3 Application statistics of hydraulic oscillators

应用地区	井号	井段/m	滑动钻进速度 提高率, %	周期缩 短率, %
川西	马蓬 23-3HF	1 390.00~ 1 733.00	50	30
	新沙 21-28H	2 048.00~ 2 468.00	45	23
大庆	卫 186-平 142	1 639.00~ 2 140.00	55	21
涪陵	焦页 X-1HF	三开水平段	132~228	13
	焦页 X-2HF	二开定向段	200	12
吉木萨尔	JHW005	定向段、水平段	48	10
胜利	高 10-平 11 井	2 434.00~ 2 541.00	20	35
鄂尔多斯	Y37-2H	4 296.00~ 4 384.00	182	18
埕海 2-2	张海 29-38L	4 797.00~ 4 885.00	48	13
苏里格	苏 36-8-18H	3 344.00~ 4 178.00	218	20
		2 970.00~ 3 130.00	30~40	21
		3 130.00~ 3 196.00	40~50	26

使用寿命较长,经济效益较好 大庆油田卫 186-平 142 井、胜利油田高 10-平 11 井、纯 56-平 6 井和宁夏地区黄 113-55 井等多口井钻井时,应用了水力振荡器,其平均使用寿命均大于 150 h,双向水力振荡器的使用寿命达到 300 h 以上。就经济性而言,由于应用水力振荡器后缩短了钻井周期,故钻井成本得到了大幅度降低<sup>[18-22]</sup>。

水力振荡器优于目前的旋转导向钻井工具 张海 29-38L 井、张海 30-26L 井和张海 28-36 井都位于埕海 2-2 人工岛,具有相同的地层,深度相近,具有很强的对比性。张海 29-38L 井应用了水力振荡器,机械钻速比应用旋转导向钻井工具的张海 30-26L 井、张海 28-36 井分别提高了 56.8% 和 12.1% (见表 4),钻井成本降低近 38 万元<sup>[23]</sup>。

表4 水力振荡器与旋转导向钻井的机械钻速对比

Table 4 ROP comparison between hydraulic oscillators and steering drilling tools

井号	井段/m	进尺/m	井下工具	机械钻速/ (m·h <sup>-1</sup> )
张海 29-38L	3 344.00~ 4 178.00	834.00	导向马达+ 水力振荡器	17.02
张海 30-26L	2 971.00~ 3 580.00	609.00	旋转导向	10.87
张海 28-36	3 647.00~ 4 149.00	502.00	旋转导向	15.21

涪陵地区的焦页 XX-2HF 井自井深 1 464.00 m 到二开完钻应用了旋转导向钻井工具,进尺 1 182.00 m,机械钻速仅为 5.90 m/h。焦页 XX-1HF 井在水平段的 2 644.00~3 993.00 m 井段应用了水力振荡器,机械钻速为 15.93 m/h,实现了水平井段“一趟钻”完钻<sup>[24-25]</sup>。与焦页 XX-2HF 井相比,焦页 XX-1HF 井的机械钻速提高了近 170%,提速效果明显。

## 2.2 存在问题

水力振荡器在现场实际应用中,虽然取得了一定的效果,但也暴露出了很多问题<sup>[26-32]</sup>。

1) 排量达不到设计要求,在一定程度上阻碍了该工具工作性能的充分发挥。表 5 为不同地区水力振荡器的工作排量。由表 5 可知,仅有苏里格地区的苏 36-8-18H 井水力振荡器的实际排量在设计排量范围内,其余各应用地区在钻进过程中水力振荡器的实际排量均处于设计排量的下限。

表5 不同地区水力振荡器的工作排量

Table 5 Pumping rate of hydraulic oscillators in different areas

应用地区	井号	工作排量/(L·s <sup>-1</sup> )	
		实际	设计
川西	马蓬 23-3HF	24	25~38
川西	新沙 21-28H	23~25	25~38
大庆	卫 186-平 142	23	20~30
鄂尔多斯	Y37-2H	27~28	26~43
埕海 2-2	张海 29-38L	24	26~43
苏里格	苏 36-8-18H	31	26~37

2) 自身压耗偏大。目前在国内现场应用中,不论美国的 NOV 水力振荡器,还是国内研制的轴向、径向和双向水力振荡器等,压耗普遍偏大(约 4.5~8.0 MPa),对钻井泵的要求较高,且长期在高压下作业易出现井下故障,造成财产损失和人员伤亡。

3) 水力振荡器的周期性振动影响井下高精密度仪器的正常工作。水力振荡器在涪陵地区焦石坝区块的应用表明,水力振荡器的振动会对 MWD 的测量产生影响,有时会导致仪器无信号。

4) 水力振荡器的安放位置不合理。宁夏、长庆、川西等地区的多口井水力振荡器的安放位置不合理,导致提速效果不明显,甚至无效果。

5) 耐冲蚀性有待提高。水力振荡器在各应用地区多口井出井后,拆开检查,发现动力部分的定子、叶轮转子等零件被严重冲蚀。

### 3 发展建议

针对国内外各类水力振荡器的技术特点及现场应用中出现的诸多问题,提出以下发展建议。

1) 提高水力振荡器的工作排量。虽然水力振荡器的工作排量增大会提高对钻井泵的要求、加大管路的沿程水头损失,但其振荡充分、摩阻降低明显,能极大地提高定向井段和水平段的机械钻速,故在不影响其他钻井设备正常使用的前提下,尽可能达到设计排量,以充分发挥水力振荡器的性能。

2) 进一步优化水力振荡器内部结构。目前从各类水力振荡器现场应用效果来看,压耗普遍偏大,导致局部水头损失明显增大,钻井液对井底岩石的冲击破碎压力降低,钻井液的辅助破岩能力下降。因此,需继续改进和完善水力振荡器内部结构,降低水力振荡器自身的压耗。

3) 确定水力振荡器合理的安放位置。从国内各地区水力振荡器的应用情况看,由于水力振荡器安放位置不合理,时常导致MWD等井下精密仪器有不同程度的损坏,钻井效率明显降低。

4) 优选水力振荡器动力部分零件的材料,研制动力部件的涂层材料。在水平井钻井过程中,特别是长水平段水平井使用水力振荡器,动力部分零件冲蚀严重甚至损坏,因此应加快其表面涂层的研制,增强水力振荡器动力部分零件的耐冲蚀性能,延长其使用寿命,提高钻井效率。

5) 选用压耗小的测量仪器和钻井工具。如果条件允许,应尽量选择压耗小的工具,譬如上部钻具尽量使用大直径(如 $\phi 139.7$  mm)钻杆以降低压力损耗,且尽量选择压耗小的测量仪器与工具。在钻井过程中,管路整体压耗降低,可提高钻井液的破岩能力,辅助水力振荡器提高机械钻速。

6) 提高钻井设备的工作能力。目前国内很多水平井的水平段长度超过1 500.00 m,钻井过程中托压严重,机械钻速较低。但在长水平段钻进过程中,安放1个水力振荡器通常不能满足钻井提速的需求,因此如果钻井设备能匹配更高的泵压,建议在钻具组合中安放2~3个水力振荡器,以进一步提高钻井效率。

### 4 结 论

1) 应用水力振荡器能降低摩阻和扭矩,提高机

械钻速;可减小钻具的横向和扭转振动,保护井下高精度仪器和钻头。

2) 水力振荡器的使用寿命长,经济效益好。

3) 水力振荡器的提速效果比目前的旋转导向钻具好,且水力振荡器已实现国产化,应用成本相对较低,具有很好的推广价值。

4) 水力振荡器在应用时还存在一些问题,今后应分析存在问题的原因,对其进行持续改进,以提高水力振荡器的性能。

### 参 考 文 献

#### References

- [1] Sola K, Lund B. New downhole tool for coiled tubing extended reach[R]. SPE 60701, 2000.
- [2] Rasheed W. Extending the reach and capability of non rotating BHAs by reducing axial friction[R]. SPE 68505, 2001.
- [3] Maidla E, Haci M. Understanding torque; the key to slide-drilling directional wells[R]. IADC/SPE 87162, 2004.
- [4] Al-Buali Muhammad Hamad, Dashash Alaa Ahmed, Al-Shawly Alaa S, et al. Maximizing coiled tubing reach during logging extended horizontal wells using e-line agitator[R]. SPE 127399, 2009.
- [5] 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, 20.  
Ni Hongjian, Han Laiju, Ma Qingming, et al. Study on down-hole vibration drilling tool induced by hydropulse[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2006, 28(2): 15-17, 20.
- [6] 马清明. 水力脉冲诱发井下振动钻井技术[J]. 石油钻探技术, 2005, 33(1): 12-14.  
Ma Qingming. The down hole vibration drilling technique induced by hydro pulse[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2005, 33(1): 12-14.
- [7] 雷鹏, 倪红坚, 王瑞和, 等. 自激振荡式旋转冲击钻井工具水力元件性能分析与优化[J]. 振动与冲击, 2014, 33(19): 175-180, 198.  
Lei Peng, Ni Hongjian, Wang Ruihe, et al. Performance analysis and optimization for hydraulic components of self-oscillating rotary impact drilling tool[J]. Journal of Vibration and Shock, 2014, 33(19): 175-180, 198.
- [8] 许京国, 尤军, 陶瑞东, 等. 自激振荡式旋转冲击钻井工具在大港油田的应用[J]. 钻采工艺, 2013, 36(3): 124-125, 128.  
Xu Jingguo, You Jun, Tao Ruidong, et al. Application of self-oscillating rotary percussion drilling tools in Dagang Oilfield [J]. Drilling & Production Technology, 2013, 36(3): 124-125, 128.
- [9] 刘天科. 自激振荡式旋转冲击钻井工具在胜利油田的应用[J]. 石油钻采工艺, 2012, 34(4): 54-56.  
Liu Tianke. Application of self-oscillating rotary percussion drilling tools in Shengli Oilfield[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2012, 34(4): 54-56.
- [10] 李博. 水力振荡器的研制与现场试验[J]. 石油钻探技术, 2014, 42(1): 111-113.  
Li Bo. Development and pilot testing of hydro-oscillator[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014, 42(1): 111-113.

- [11] 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.
- [12] 张辉,吴仲华,蔡文军. 水力振荡器的研制及现场试验[J]. 石油机械, 2014, 42(6): 12-15.  
Zhang Hui, Wu Zhonghua, Cai Wenjun. Development and field testing of hydraulic oscillator[J]. China Petroleum Machinery, 2014, 42(6): 12-15.
- [13] 刘华洁,高文金,涂辉,等. 一种能有效提高机械钻速的水力振荡器[J]. 石油机械, 2013, 41(7): 46-48.  
Liu Huajie, Gao Wenjin, Tu Hui, et al. A kind of hydraulic oscillator effectively improving ROP[J]. China Petroleum Machinery, 2013, 41(7): 46-48.
- [14] 常玮,易先中,万继方,等. 机械振动降摩减阻技术在滑动钻井中的应用[J]. 机械工程师, 2015(3): 146-148.  
Chang Wei, Yi Xianzhong, Wan Jifang, et al. Application of mechanical vibration reduction technology in sliding drilling[J]. Mechanical Engineer, 2015(3): 146-148.
- [15] 张会增,管志川,刘永旺,等. 基于旋转激励的钻柱激振减阻工具的研制[J]. 石油机械, 2015, 43(5): 9-12.  
Zhang Huizeng, Guan Zhichuan, Liu Yongwang, et al. Development of drilling string excitation drag reduction tool based on rotary excitation[J]. China Petroleum Machinery, 2015, 43(5): 9-12.
- [16] 王立宏. 水力振荡器的研制及应用[J]. 石油矿场机械, 2015, 44(3): 81-83.  
Wang Lihong. Development and application of hydro-oscillator[J]. Oil Field Equipment, 2015, 44(3): 81-83.
- [17] 纪国栋,汪海阁,查永进,等. 井底自激振荡脉冲粒子射流钻井工具试验研究[J]. 石油机械, 2014, 42(11): 30-34, 37.  
Ji Guodong, Wang Haige, Zha Yongjin, et al. Experimental study on the downhole self-oscillation pulse particle jet drilling tool[J]. China Petroleum Machinery, 2014, 42(11): 30-34, 37.
- [18] 付加胜,李根生,史怀忠,等. 井下振动减摩技术研究进展[J]. 石油机械, 2012, 40(10): 6-10, 45.  
Fu Jiasheng, Li Gensheng, Shi Huaizhong, et al. Research progress of the downhole vibration antifriction technology[J]. China Petroleum Machinery, 2012, 40(10): 6-10, 45.
- [19] 黄崇君,谢意,刘伟,等. 水力振荡器在川渝地区水平井的应用[J]. 钻采工艺, 2015, 38(2): 101-102, 116.  
Huang Chongjun, Xie Yi, Liu Wei, et al. Application of hydraulic oscillator in horizontal wells in Sichuan and Chongqing Area[J]. Drilling & Production Technology, 2015, 38(2): 101-102, 116.
- [20] 王建龙,王丰,张雯琼,等. 水力振荡器在复杂结构井中的应用[J]. 石油机械, 2015, 43(4): 54-58.  
Wang Jianlong, Wang Feng, Zhang Wenqiong, et al. Application of hydraulic oscillator in complex wells[J]. China Petroleum Machinery, 2015, 43(4): 54-58.
- [21] 秦春,陈小元,李禹,等. 水力脉冲射流钻井提速技术在江苏油田的应用[J]. 石油机械, 2015, 43(5): 17-21.  
Qin Chun, Chen Xiaoyuan, Li Yu, et al. Applications of hydraulic pulse jet technology in Jiangsu Oilfield[J]. China Petroleum Machinery, 2015, 43(5): 17-21.
- [22] 董学成,熊继有,王国华,等. 振荡冲击器工作特性研究[J]. 机械工程学报, 2014, 50(21): 197-205.  
Dong Xuecheng, Xiong Jiyu, Wang Guohua, et al. Study on running characteristic of oscillation impactor for oil-drilling[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2014, 50(21): 197-205.
- [23] 许京国,陶瑞东,杨静,等. 水力振荡器在大位移井张海 29-38L 井的应用[J]. 断块油气田, 2014, 21(4): 527-529.  
Xu Jingguo, Tao Ruidong, Yang Jing, et al. Application of hydraulic oscillator in Zhanghai 29-38L extended reach well[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2014, 21(4): 527-529.
- [24] 廖腾彦,余丽彬,李俊胜. 吉木萨尔致密砂岩油藏工厂化水平井钻井技术[J]. 石油钻探技术, 2014, 42(6): 30-33.  
Liao Tengyan, Yu Libin, Li Junsheng. A factory-like drilling technology of horizontal wells for tight sandstone reservoirs in the Jimusaer Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014, 42(6): 30-33.
- [25] 王坤,夏宏南,白凯,等. 涪陵焦石坝地区水力振荡器在页岩气井应用评价[J]. 辽宁化工, 2014, 43(12): 1579-1581.  
Wang Kun, Xia Hongnan, Bai Kai, et al. Application evaluation of the hydro-oscillator in shale gas wells in Fuling Jiaoshiba Region[J]. Liaoning Chemical Industry, 2014, 43(12): 1579-1581.
- [26] 石崇东,党克军,张军,等. 水力振荡器在苏 36-8-18H 井的应用[J]. 石油机械, 2012, 40(3): 35-38.  
Shi Chongdong, Dang Kejun, Zhang Jun, et al. Application of the hydraulic oscillator in Well 36-8-18H of the Sulige Block[J]. China Petroleum Machinery, 2012, 40(3): 35-38.
- [27] 胥豪,牛洪波,唐洪林,等. 水力振荡器在新场气田新沙 21-28H 井的应用[J]. 天然气工业, 2013, 33(3): 64-67.  
Xu Hao, Niu Hongbo, Tang Honglin, et al. Application of hydraulic oscillators to the development of Well Xinsha 21-28H in the Xinchang Gas Field, Western Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2013, 33(3): 64-67.
- [28] 王先洲,蒋明,邓增库,等. 苏 76-1-20H 井钻井技术[J]. 石油钻采工艺, 2013, 35(2): 26-30.  
Wang Xianzhou, Jiang Ming, Deng Zengku, et al. Drilling technology for Well Su76-1-20H[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2013, 35(2): 26-30.
- [29] 刘志坚,李榕.  $\phi 172$  mm 水力振荡器在川西中浅水平井的应用[J]. 天然气技术与经济, 2012, 6(6): 37-39, 78.  
Liu Zhijian, Li Rong. Application of hydraulic oscillator with  $\phi 172$  mm to medium-to-shallow horizontal wells, Western Sichuan Basin[J]. Natural Gas Technology, 2012, 6(6): 37-39, 78.
- [30] 张建国,宋硕,马继业,等. 一种自激式水力振荡器特性的研究及应用[J]. 石油钻探技术, 2009, 37(5): 10-14.  
Zhang Jianguo, Song Shuo, Ma Jiye, et al. Investigation and application of a self-excited hydro-oscillator in oilfields[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(5): 10-14.
- [31] 杨利,郭先敏. 钻机与井下工具新进展[J]. 断块油气田, 2013, 20(5): 674-677.  
Yang Li, Guo Xianmin. New advances in drilling rig and downhole tools[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2013, 20(5): 674-677.
- [32] 谢新刚,彭元超,程元林,等. 水力振荡器在储气库长水平段的应用[J]. 钻采工艺, 2014, 37(1): 99-101.  
Xie Xingang, Peng Yuanchao, Cheng Yuanlin, et al. Application of hydraulic oscillator in the storage of the long horizontal section[J]. Drilling & Production Technology, 2014, 37(1): 99-101.