

射流式冲击器水平井段试验及失效分析

索忠伟

(中国石油化工股份有限公司石油工程技术研究院,北京 100101)

摘要:为了解决油气钻井水平井硬地层可钻性差、钻速慢的问题,同时减小水平井段滑动钻进中出现托压的现象,提高钻井效率,通过对工具原理进行分析,对结构及参数进行改进,研制出了适于水平井段的射流式冲击器,并在台架试验的基础上,进一步优化了性能参数、钻具组合及旋冲钻井参数,并开展了水平井段现场试验应用。现场试验结果表明,在水平井段采用射流式冲击器提速效果显著,具有深入研究的价值。但冲击器在水平井段失效问题影响了其提速效果,本文对其存在的问题进行了理论及试验分析并提出了改进方案。

关键词:水平井;射流式冲击器;缸体;失效分析

中图分类号:P634;TE242 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2019)06-0059-05

Fluid hammer field test and failure analysis in horizontal wells

SUO Zhongwei

(Sinopec Research Institute of Petroleum Engineering, Beijing 100101, China)

Abstract: In order to solve the problems of poor drillability and slow ROP, reduce the friction drag in slide drilling of the horizontal section, and improve drilling efficiency in drilling horizontal wells in hard formation for oil and gas, a fluid powered efflux-hammer was developed for horizontal drilling through the analysis of the tool working principle and the improvement of the structure and parameters. On the basis of bench tests, the performance parameters, drilling tool assembly and rotary-percussive drilling parameters were further optimized, and the field tests for horizontal drilling were carried out. The results of field tests showed that the fluid powered efflux-hammer has a remarkable effect in increasing the ROP over the horizontal well section, so it is worth further research. However, the failure of the tool in the horizontal section affects its effect in improving the ROP. In this paper, the problems of the tool are analyzed theoretically and experimentally, with the improvement plan put forward.

Key words: horizontal well; fluid powered efflux-hammer; cylinder block; failure analysis

旋冲钻井技术是当前解决硬岩钻进难题最有效的方法之一,采用该技术,可使油气田勘探钻井平均钻进效率提高 20%~100%,在硬地层效果更为显著,钻井成本下降 20%~50%^[1-2]。

旋冲钻井技术的主要载体是能够产生高频动载的液动冲击器,在常规回转钻井的基础上,增加冲击作用,加速井底岩石的破碎,进而提高破岩效率^[3-5]。射流式冲击器是液动冲击器的一种,在垂直井中应用已取得了良好的提速效果,并已开始逐步得到推广应用。在水平井中应用其工作寿命和提速效果还需进一步开展现场试验验证。

1 射流式冲击器工作原理及特点

1.1 射流式冲击器工作原理

射流式冲击器工作原理^[3-5]如图 1 所示。当高压流体流经射流元件时,从射流元件喷嘴 A 喷出,基于射流附壁原理从射流元件喷嘴高速喷出后随机附壁射流元件的左侧或右侧,假如射流先附壁于右侧,高速附壁射流由输出道 E 进入活塞缸体上腔 H,推动活塞 I 与活塞连接的冲锤 K 一起下行,直到撞击到砧子 M 端面,产生对砧子的冲击。砧子将冲击力以应力波的形式传递到钻头 L,完成一次冲击作用。增加钻头对井底岩石的破碎效率,提高机械钻速。

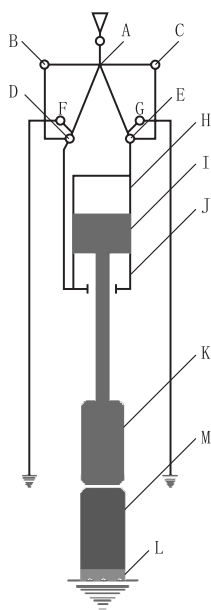
收稿日期:2019-04-11; **修回日期:**2019-05-20 **DOI:**10.12143/j.tkgc.2019.06.011

基金项目:国家重大专项“复杂地层钻井提速提效关键工具与装备研发”(编号:2016ZX05021-003)

作者简介:索忠伟,男,汉族,1970 年生,副教授,地质工程专业,博士,主要从事钻井工程科研工作,北京市朝阳区北辰东路 8 号北辰时代大厦 701 室,suozhongwei123@163.com。

引用格式:索忠伟.射流式冲击器水平井段试验及失效分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(6):59-63.

SUO Zhongwei. Fluid hammer field test and failure analysis in horizontal wells[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(6):59-63.



A—喷嘴出口;B—左控制孔;C—右控制孔;D—左信号道入口(左输出道);E—右信号道入口(右输出道);F—左排空道;G—右排空道;H—活塞上腔;I—活塞;J—活塞下腔;K—冲锤;M—砧子;L—钻头

图1 射流式冲击器工作原理示意图

Fig.1 Schematic diagram of the efflux-hammer working principle

当冲锤与砧子撞击同时,活塞停止运动,冲锤撞击砧子反弹瞬间上腔形成水击压力,水击压力信号通过信号道口 E 反馈到控制孔 C 出口,迫使射流切换附壁于左侧。高速附壁射流由输出道 D 沿缸体外侧通道进入缸体下腔 J,然后推动活塞向上作回程运动。当活塞运动到上死点位置时,缸体下腔 J 产生激增水压,水压信号通过左侧信号道入口 D 传递到控制孔 B 处,迫使射流切换附壁。周而复始,实现高频动载冲击。缸体上、下腔排出的流体和未进入腔体推动活塞运动的流体则通过 F、G 排空道排出,经缸体外侧排空道、过流接头及砧子流道流入到井底。

由于冲击器冲击作用造成井底岩石应力集中,井底岩石在高频动载下塑性降低,脆性增加,更容易产生破裂裂纹,裂纹的产生,大幅度减小了破岩所需的扭矩,有利于 PDC 钻头切削破岩,随着冲击的作用增大,裂纹发育,产生体积破碎坑,加速破岩效率,提高机械钻速。

1.2 射流式冲击器的特点及水平井施工对冲击器的要求

(1)井下作业安全可靠,即便不工作也不必起钻,可按常规钻井继续钻进。

(2)性能参数具有较大的调整范围,不会影响井下动力钻具和测量仪器配合使用^[10-12]。

(3)在与 MWD/LWD 配合应用时,不会影响其信号传递^[13-14]。

(4)在钻具组合中,其位置可与钻头直接配合,也可置于动力钻具的上部^[15]。

2 水平井射流式冲击器现场试验情况

试验在 KHA1-63 井进行,当完成该井设计井深 3632 m 后,现场试验分 2 趟钻进。

第一套钻具组合:8 1/2 in(1 in=25.4 mm,下同)MXL-55DXO 贝克休斯钻头(IADC637)+Ø178 mm 射流式冲击器+6 1/2 in 钻铤+5 in 钻杆+5 in 加重钻杆+5 in 钻杆。

第二套钻具组合:8 1/2 in MXL-55DXO 贝克休斯钻头(IADC637)+Ø178 mm 射流式冲击器+A675M 螺杆+6 1/2 in 钻铤+5 in 钻杆+5 in 加重钻杆+5 in 钻杆。

综合考虑螺杆和旋冲钻井的特点,优选出旋冲钻井参数,见表 1。

表 1 试验井段旋冲钻井参数设计

Table 1 Rotary-percussive drilling design parameters for the test well section

钻压/ kN	转速(转盘+螺 杆)/(r·min ⁻¹)	排量/ (L·s ⁻¹)	冲击功/ J	冲击频 率/Hz	备注
60~80	60~70+150	28~30	286~315	9~10	推荐

第一套钻具试验井段为 3632~3651 m。纯钻时间 9 h,进尺 19 m,平均机械钻速 2.1 m/h。使用常规旋转钻井在该区块水平井段花岗岩地层钻进,平均机械钻速 1.5 m/h,使用旋冲钻井,相比常规旋转钻井提速效果显著。

第二套钻具试验井段为 3651~3700 m。试验采用了冲击器与螺杆组合,纯钻时间 15.5 h,进尺 49 m,平均机械钻速 3.2 m/h。其中,在工具有效工作井段 3651~3662 m,进尺 11 m,纯钻时间 2.2 h,平均机械钻速 5 m/h。表 2 列举了在 KHA1-63 井 8 1/2 in 井眼中,采用射流式冲击器钻进与未采用射流式冲击器钻进机械钻速对比情况。

从表 2 可见,在同时使用冲击器加螺杆情况下,当冲击器正常工作时平均机械钻速为 5.0 m/h,相比上部井段(1~5)使用螺杆,机械钻速较最快钻速(3.8 m/h)提高了 32%。较上部井段使用同型号钻头

表 2 与相邻井段钻速对比情况

Table 2 ROP comparison with adjacent well sections

序号	井段/m	进尺/m	钻头型号	纯钻时间/h	钻速/(m·h ⁻¹)	备注
1	3115~3192	77	MXL-55DXO	42.0	1.8	螺杆
2	3225~3336	111	MXL-55DXO	44.0	2.5	螺杆
3	3336~3465	129	GFI50yod1vpsx	44.0	2.9	螺杆
4	3465~3583	118	GFI50yod1vpsx	43.5	2.7	螺杆
5	3583~3632	49	GFI50yod1vpsx	13.0	3.8	螺杆
6	3632~3651	19	MXL-55DXO	9.0	2.1	冲击器
7	3651~3662	11	MXL-55DXO	2.2	5.0	冲击器+螺杆
8	3651~3700	49	MXL-55DXO	15.5	3.2	冲击器+螺杆

(MXL-55DXO)使用螺杆最快机械钻速(2.5 m/h)提高了1倍。可见冲击器与螺杆配合使用具有显著的提速效果。

3 存在的问题及分析

虽然2套射流式冲击器在水平井段试验中有效提高了机械钻速,但共同存在井下工作寿命短的问题。在现场应用后对冲击器进行了拆检分析,认为造成冲击器工作时间短的原因是缸体失效,即在缸体内壁流道一侧出现了断裂。为了查找出问题的原因,对缸体进行了材料综合性能分析,并对断块进行了强度分析。

对使用后发生断裂的HHD缸体(试样一)和H13缸体(试样二)进行了综合分析。对比分析2试样的材料化学成分、拉伸性能、冲击性能、硬度、非金属夹杂物、金相组织和晶粒度,对断裂的HHD缸体试样进行断口分析和渗层厚度检测。

3.1 材料化学成分分析

取H13和HHD两种不同材料样块,进行材料化学成分分析,结果见表3。

表 3 材料化学成分分析结果 wt%

Table 3 Assay results of chemical composition of materials

材料	Cr	C	Mn	Mo	V	Si	P	S	Ni	Ce
H13	5.09	0.40	0.31	1.34	0.92	1.04	0.0083	0.001	0.16	0.034
HHD	2.54	0.49	0.72	0.50	0.27	0.46	0.0360	0.031	<0.10	

从表3可见,HHD缸体和H13缸体的化学成分有较大的差异,HHD缸体材料中Cr、Si、Mo、V的含量明显低于H13缸体,并且添加了稀土元素Ce进行改性。

3.2 组织和夹杂物检验

采用EDS分析结果表明,缸体使用HHD材料存在Ce的硫化锰夹杂和稀土氧化物夹杂。缸体采

用HHD材料,其内表面渗氮层深度为0.12 mm。缸体内壁和外壁有明显的铸造缺陷,其内壁存在渗氮层剥落现象,并在内壁产生了几处裂纹。

H13缸体材料中的非金属夹杂物数量比较少,大都呈点状,尺寸较小,EDS分析显示,主要是氧化物、硫化物及钒的碳氮化物。材料基体组织为回火索氏体+少量共析碳化物,晶粒度5.0级。也存在枝晶状偏析,但没有HHD缸体严重,如图2所示。凹坑内的腐蚀产物中可检测到很高的S。材料中也存在较多铸造疏松缺陷,个别缺陷尺寸较大,肉眼依稀可见。

3.3 力学性能试验

冲击和拉伸试验结果表明,HHD缸体的材料强度远低于H13,2种材料的塑性和韧性均很低。测试结果见表4和表5。

表 4 拉伸性能测试结果

Table 4 Tensile test results

材料	抗拉强度/ MPa	非比例延伸 强度/MPa	断面收缩率/ %	断后伸长率/ %
H13	1640	1430	4.5	1.5
HHD	785	785	3.5	0.5

表 5 室温冲击试验结果 KV₂/J

Table 5 Impact test results at ambient temperature

材料	1	2	3	平均值
H13	2.0	1.5	1.25	1.6
HHD	1.0	1.0	1.25	1.1

3.4 硬度测试

测试结果见表6。

表 6 维氏硬度测试结果 HV1

Table 6 Diamond pyramid hardness test results

位置	1	2	3	4	5	6	7	8	平均值
HHD缸体内表面	1039	1014	1039	1049	1091	1011	1055	1065	1045
HHD缸体基体	524	523	517	509	508	517	493	486	510
H13缸体基体	531	530	517	523	531	544	533	512	528

由表6可见,HHD缸体渗氮处理后的表面硬度在1000 HV1以上,基体材料的平均硬度为510 HV1;H13缸体材料的基体硬度略高于HHD缸体,平均为528 HV1。

分析结果表明:

(1)HHD缸体材料基体组织的塑性和韧性都很差,硬度较高,达HRC50;缸体内表面渗氮层的平均深度约为0.12 mm,基体为回火索氏体组织,晶粒度为9.5级,有明显的枝晶偏析,存在较多铸造疏松;

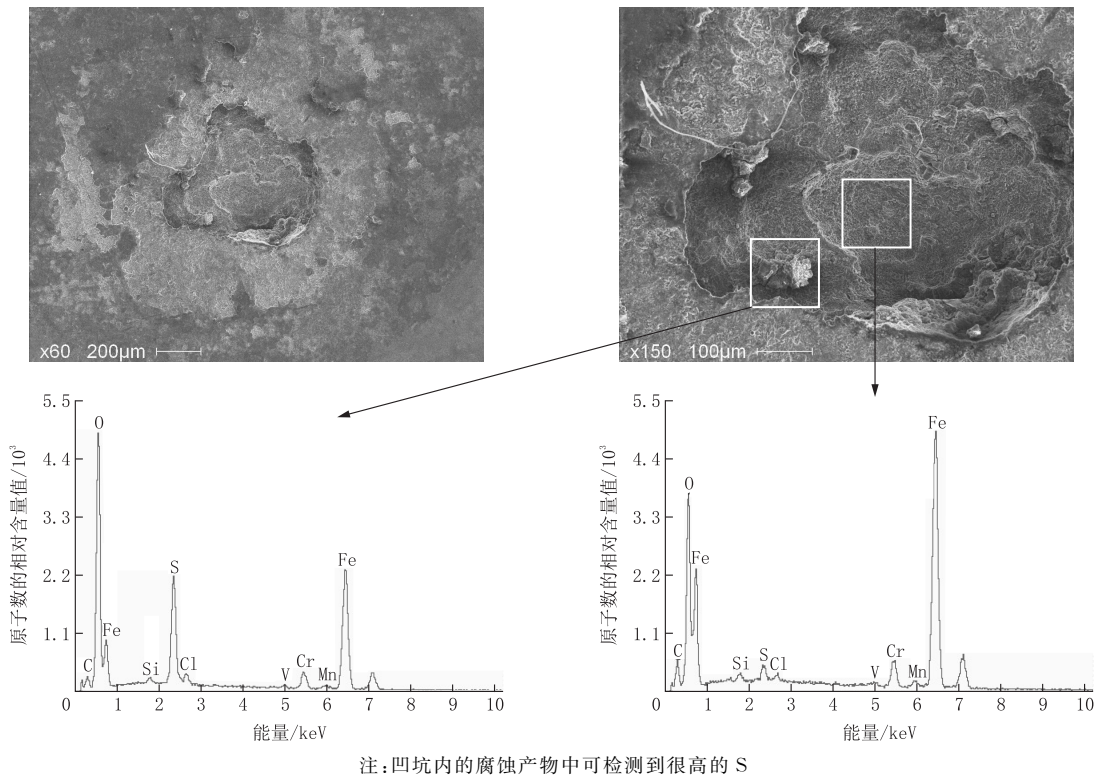


图2 腐蚀点微观形貌和能谱分析

Fig.2 Microscopic morphology and energy spectrum analysis of corrosion points

材料中含有较多的点状含稀土 Ce 的夹杂物和硫化锰夹杂物,个别含稀土夹杂物尺寸较大,达到 30 μm ;缸体属于多源腐蚀疲劳断裂,裂纹起源于缸体内表面腐蚀坑和露出表面的铸造疏松缺陷;内表面腐蚀坑内分析出有含硫腐蚀产物。

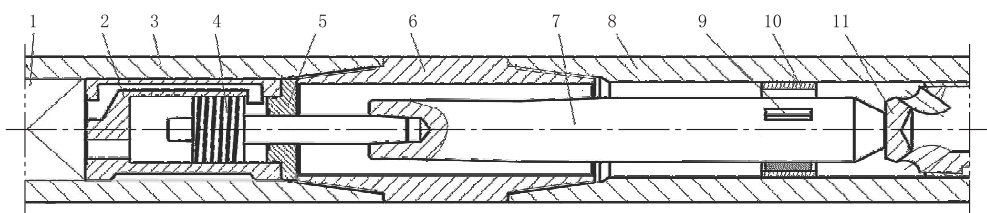
(2)H13 缸体:基体材料的塑性和韧性较差,硬度很高,达 HRC51;材料的基体组织为回火索氏体+少量共析碳化物,晶粒度 5.0 级,枝晶偏析不明显,存在大量铸造疏松缺陷;材料中非金属夹杂物数量不多,主要是氧化物、硫化物及钒的碳氮化物,尺寸较小。

综上分析,缸体在铸造的过程中存在着 0.5 mm 的误差,缸体设计内壁为 5 mm,加工壁厚 4.5

mm,强度降低;热处理硬度过高,缸体设计硬度为 HRC48,实际热处理硬度为 HRC59,硬度提高材料脆性增强,韧性降低;加工工艺中退刀槽便于加工,但使内壁根部厚度减薄 1 mm,增加了应力集中,降低了内壁强度。

4 改进方案

通过设计一种水平并用冲击器冲击力传递机构,能够使冲击器在水平井中工作时减小活塞与活塞缸、活塞杆与压盖、冲锤与外管等运动副之间的摩擦磨损,更有效地传递冲击能量,提高冲击器井下工作寿命;冲锤在外管内通过花键配合运动,摩阻小,机构可靠性高。图3为水平井冲击器结构示意图。



1—射流元件;2—活塞缸 3—外缸;4—活塞;5—活塞压盖;6—中接头;7—冲锤 8—外管;9—冲锤花键;10—外管花键环;11—砧子

图3 水平并用冲击器结构示意图

Fig.3 Structural sketch of the fluid powered hammer for horizontal wells

此外,改进铸造材料,选择铸造性能更好的 H13 作为缸体的铸造材料。改进铸造工艺,针对现在缸体铸造成品率低,存在铸造缺陷的情况,提出改进铸造工艺和检验手段的具体措施,消除加工误差。冲击器改进后在国内水平井段进行了现场应用,其工作寿命达 125 h。

5 结论

(1)射流式冲击器在 KHA1-63 井的试验结果证明其在水平井段具有显著提速效果。

(2)缸体过早失效制约了射流式冲击器在水平井段的进一步推广应用。

(3)导致缸体失效的关键因素为材料性能和材料缺陷。

(4)通过冲击器结构改进设计、加工材料及工艺优化,可解决冲击器水平井过早失效的问题。

参考文献(References):

- [1] 殷琨,蒋荣庆.发展中的冲击回转钻进技术[J].探矿工程,1997,(5):53-55.
YIN Kun, JIANG Rongqing. On-going percussive-rotary drilling technology[J]. Exploration Engineering, 1997,(5):53-55.
- [2] 朴成哲,殷琨,蒋荣庆,等.KSC-127 型射流式冲击器应用于大陆科学深钻的试验研究[J].世界地质,2000,19(3):295-298.
PIAO Chengzhe, YIN Kun, JIANG Rongqing, et al. Experimental research on application of KSC-127 fluid efflux hammer in CSDP[J]. World Geology, 2000,19(3):295-298.
- [3] 张祖培.潜孔锤钻进技术的新发展[J].长春地质学院学报,1994,24(1):117-118.
ZHANG Zupai. Advances in DTH hammer drilling technology [J]. Journal of Changchun University of Earth Science, 1994,24(1):117-118.
- [4] 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,(5):4-8.
TAO Xinghua. Effective measures for improving the penetration rate of deep well[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2001,(5):4-8.
- [5] 王雷,郭志勤,张景柱,等.旋冲钻井技术在石油钻井中的应用[J].钻采工艺,2005,(1):8-11.
WANG Lei, GUO Zhiqin, ZHANG Jingzhu, et al. Application of percussive-rotary drilling technology in oil wells[J]. Drilling and Production Technology, 2005,(1):8-11.
- [6] 菅志军,殷琨,蒋荣庆,等.油气勘探钻井用液动射流式冲击器的研究与应用[J].世界地质,1998,17(4):88-92.

- JIAN Zhijun, YIN Kun, JIANG Rongqing, et al. The research on hydro efflux DTH hammer applying to oil and gas exploration drilling[J]. World Geology, 1998,17(4):88-92.
- [7] 李广国,索忠伟,王甲昌,等.射流式冲击器配合 PDC 钻头在超深井中的应用[J].石油机械,2013,41(4):31-34.
LI Guangguo, SUO Zhongwei, WANG Jiachang, et al. Application of jet hydro-efflux hammer and PDC Bit in superdeep well[J]. China Petroleum Machinery, 2013,41(4):31-34.
- [8] 菅志军,殷琨,蒋荣庆.增大液动射流式冲击器单次冲击功的试验研究[J].长春科技大学学报,2000,30(3):303-306.
JIAN Zhijun, YIN Kun, JIANG Rongqing. Research on increasing impacting energy of hydro-efflux hammers[J]. Journal of Changchun University of Science and Technology, 2000,30(3):303-306.
- [9] 彭视明.射流式液动锤增设蓄能装置的数值分析与实验研究[D].吉林长春:吉林大学,2004.
PENG Jianming. A numerical and experimental study of liquid jet hammer with energy-saving mechanism[D]. Changchun Jilin: Jilin University, 2004.
- [10] 索忠伟.油气井液动锤使用蓄能器增大冲击功理论分析及实验研究[D].吉林长春:吉林大学,2006.
SUO Zhongwei. Theory and experimental study of hydro-efflux hammer with accumulator used in oil and gas drilling [D]. Changchun Jilin: Jilin University, 2006.
- [11] 朱岳东,张志军.基于动力学特征的车铣机床横梁的优化设计[J].沈阳工业学院学报,2004,23(4):11-13.
ZHU Yuedong, ZHANG Zhijun. Optimum design of turn-milling machine tools beam based on dynamics characteristics [J]. Journal of Shenyang Institute of Technology, 2004,23(4):11-13.
- [12] Skyles L P, Amiraslani Y A. Converting static friction to drill further and faster in directional holes[R]. SPE 151221,2012.
- [13] 殷子横,索忠伟,张硕坤,等.Ø228 mm 射流式冲击器在涪陵二开的应用研究[J].石油机械,2017,6(4):13-16.
YIN Ziheng, SUO Zhongwei, ZHANG Shuokun, et al. Application of Ø228mm jet impactor in the second spud in Block Fuling[J]. China Petroleum Machinery, 2017,6(4):13-16.
- [14] 索忠伟,王甲昌,张海平,等.旋冲钻井在塔河工区超深井段的应用[J].石油钻采工艺,2013,35(4):44-46.
SUO Zhongwei, WANG Jiachang, ZHANG Haiping, et al. Application of rotary percussion drilling on the super deep section in Tahe Field[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2013,35(4):44-46.
- [15] 罗恒荣,索忠伟,谭勇,等.防托压冲击器在盘 40-斜 501 井的应用[J].石油钻探技术,2015,43(5):30-33.
LUO Hengrong, SUO Zhongwei, TAN Yong, et al. Application of reducing WOB stack impactor in Well Pan 40-Xie 501[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2015,43(5):30-33.

(编辑 韩丽丽)