

防流体倒灌的新型泡沫锤研制及其应用

胡 贵 孟庆昆 王向东 陶 冶

中国石油勘探开发研究院

胡贵等.防流体倒灌的新型泡沫锤研制及其应用.天然气工业,2014,34(7):71-74.

摘 要 空气锤在油气田研磨性地层提速和高陡地层防斜应用中逐步成熟,但还存在出液地层钻井作业受井底压力的影响而出现输出功率低甚至不工作,以及停止循环时地层液体倒灌气缸而污染空气锤的问题。为此,研制出了同时适应于气体(干气)和雾化泡沫(湿气)钻井介质、具备防止井下流体倒灌的新型泡沫锤。该泡沫锤与空气锤相比,优化了气室结构以保证气体和雾化泡沫钻井介质的输出功率;新增的防倒灌装置在接单根时,依靠泡沫锤阀体与液体当量密度差推动阀体向上运行,可封闭地层流体进入泡沫锤的通道。在松辽盆地徐深气田外围的肇深 17 井下白垩统泉头组、登娄库组开展了现场试验,泡沫锤在气体介质条件下相比常规钻井机械钻速提高 6.5 倍,相比气体牙轮钻井提高 1 倍;在泡沫介质条件下相比常规钻井机械钻速提高 2 倍且钻进过程未发生井底流体倒灌现象。试验结果表明,所研制的泡沫锤在气体介质条件下相比空气锤输出功率未降低且具备了适应雾化泡沫钻井介质和防井下流体倒灌的能力。

关键词 欠平衡钻井 气体钻井 泡沫钻井 空气锤 泡沫锤 防倒灌 地层出水 松辽盆地 早白垩世

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2014.07.012

Research, development and application of a novel foam hammer capable of preventing downhole fluid backflow

Hu Gui, Meng Qingkun, Wang Xiangdong, Tao Ye

(Petroleum Exploration & Development Research Institute, PetroChina, Beijing 100083, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 34, ISSUE 7, pp.71-74, 7/25/2014. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

Abstract: Air hammers are gradually used for speed improvement in abrasive formation and anti-deflection in high-steep strata in oil and gas fields. However, when used in water formation, an air hammer is easy to output less energy or fails to work due to the downhole pressure, even the formation fluid flows back into gas cylinder and pollute the air hammer when stopping circulating. In view of this, a novel foam hammer was developed, which is suitable for air (dry), mist or foam (wet) drilling medium and capable of preventing downhole fluid backflow. Compared with an air hammer, this foam hammer has an optimized gas chamber structure to enhance the power output in air, mist or foam drilling medium. Moreover, the foam hammer is equipped with an anti-backflow device which uses the equivalent density difference between valve block and formation fluid when making a connection to make the valve move upward to seal the channel through which the formation fluid flows into foam hammer. In the field test conducted at the Quantou and Denglouku Fms of Well Zhaoshen 17 outside the Xushen Gas Field in the Songliao Basin, the penetration rate with a foam hammer and gas drilling medium was 6.5 times higher than that of traditional drilling machine, and was twice as high as that of tri-cone bit drilling in gas medium; the penetration rate with foam medium was twice higher than that of traditional drilling machine and downhole fluid did not flow back. The test results showed that compared with an air hammer, this developed foam hammer is featured by higher energy output, and is applicable with mist and foam drilling media and capable of preventing downhole fluid backflow.

Keywords: underbalanced drilling, gas drilling, foam drilling, air hammer, foam hammer, anti-backflow, water formation, Songliao Basin, Early Cretaceous

基金项目: 中国石油天然气集团公司科学研究与技术开发项目“欠平衡/气体钻井技术现场试验”(编号:2010F-12)。

作者简介: 胡贵, 1985 年生, 工程师, 博士研究生; 主要从事钻井工艺及井下工具研究工作。地址: (100083) 北京市海淀区学院路 20 号 910 信箱。电话: (010) 83593328。E-mail: hugui20032001@163.com

空气锤在油气田“防斜打快”应用中逐步成熟^[1-3],应用范围从传统防斜提速开始向定向钻井发展^[4]。但也还存在钻遇地层出水,空气锤易出现输出功率低或不工作的问题^[5]及地层液体倒灌气缸污染空气锤问题。国内外曾在泡沫介质中应用空气锤钻进^[6-7],但主要限于浅地层,井底压力较小,对空气锤输出功率影响程度较小。在油气钻井行业,由于井深大,使用雾化或泡沫后井底压力相对纯气体高,对常规空气锤输出功率影响较大,有必要同时发展适应于气体(干气)和雾化或泡沫(湿气)钻井介质的泡沫锤技术。为此,笔者主要介绍了泡沫锤的研制背景、结构及性能特点以及在现场中的应用效果。

1 泡沫锤研制背景

空气锤在潮湿地层或出水地层钻进时,容易出现泥包钻头钻具现象,封堵钻具和井壁之间的环空,严重时可直接封堵住气体通道,致使气体钻井无法正常钻进。遇到这种情况,只能转换钻进工艺,根据出水量采用雾化钻井、泡沫钻井、充气钻井或钻井液钻进等,以保证携岩携屑。但使用雾化钻井或泡沫钻井,常规空气锤容易出现以下两大问题:①输出功率低或无输出功率,导致空气锤机械钻速低或无法钻进;②井下液体倒灌空气锤气室污染气缸导致空气锤失效。

1.1 输出功率降低

在现场作业中,一旦发生地层出水,空气锤首先是每米钻时增加,严重时可出现无进尺现象,随后返出气体潮湿。出现这种情况,现场一般先循环干燥,若干燥不成功则转化为雾化或泡沫钻井。介质转换对空气锤的输出功率影响更大,每米钻时会进一步降低,直至出现无进尺现象。

根据空气锤的结构及工作原理^[8]可知,实现其能量交换和转化过程的关键是空气锤后气室在充盈的钻井介质时具有一定的压缩量,保证活塞位移大于前气室泄压所需要最小距离,实现前后气室的能量交换。当钻井介质转化为雾化或泡沫后,需在注入气体中同时添加一定量的水及发泡剂,以保证携岩。当注入一定量的液体后,会导致以下问题:①输入介质的可压缩性降低,或称输入介质可压缩成分的体积分数降低;②环空中钻井介质当量密度提高,空气锤背压增加,导致空气锤后气室的可压缩性降低。

本文参考文献^[5]分析了空气锤在泡沫钻井介质条件下的工作性能,认为泡沫介质不可压缩成分等同于减小了后气室的初始体积,同时泡沫钻井时井底压力增加会降低活塞的行程,影响其能量交换过程,严重

时导致空气锤无输出功率;针对此问题提出了综合优化后气室初始体积、优化尾管结构尺寸、优化动力单元间隙的技术建议。

1.2 地层液体倒灌

空气锤遇水后除输出功率降低外,还会出现地层液体倒灌问题。即在钻井介质(气体、雾化或泡沫)停止循环时,如接换单根(立柱)时,地层液体流入井筒,因不能及时上返而在井底积聚,达到一定量时可通过钻头中心孔进入气缸,并携带一定的井下岩屑、粉尘或地层脏污。这些岩屑粉尘脏污在水的作用下极易粘贴在气缸内壁和活塞上,当送气恢复循环钻进时,如不及时排出,则会卡死活塞或者加速气缸和活塞的磨损。

2 泡沫锤结构特点

2.1 结构

和空气锤^[1]类似,研制的泡沫锤采用无阀式中心排气结构,并增加了防倒灌装置。主要构成部件有:后接头、外套筒、逆止阀、配气座、后气室、活塞缸、前气室、防倒灌装置、尾管、活塞、阀体、钻头。

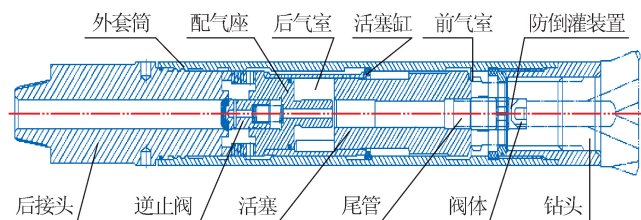


图1 PKQC180 泡沫锤结构示意图

2.2 特点

泡沫锤除具有空气锤技术特点:①冲击破岩提高机械钻速,②高倾角地层纠斜防斜钻进,③耐井下150℃高温外,还具备以下两大技术优势。

1)可同时适用气体(干气)和雾化泡沫(湿气)钻井介质。相比空气锤,动力单元(前后气室、气缸、活塞、尾管)结构参数重新优化设计,降低湿气时背压增加对前后气室能量交换过程的影响程度,提高其在泡沫介质中的适应性,适合注液量应小于3 L/s。现场作业时,泡沫锤可先在气体介质中钻进,如遇地层出水需要转化为雾化钻进或泡沫钻井(注液量在推荐值范围内)时,不用起钻调整结构参数^[8],相比空气锤对泡沫介质具有更好的适应性。

2)可防止井下液体倒灌。泡沫锤钻头部位增加了防倒灌装置,如图1所示。其工作原理为:泡沫锤正常工作时,装置中阀体在重力和流体作用下处于下行位置,流体通道常开;当接换单根(立柱)停止注气循环

时,井下流体侵入井筒。随着流体的集聚,当液面淹没防倒灌装置后,由于阀体当量密度小于井下流体密度,阀体开始上行,并封闭流体通道,并随着井下流体的继续集聚,泡沫锤外部液面逐步上升,阀体上下压差增加,密封性增加,从而达到防止倒灌的目的。相比一般的弹簧强制性防倒灌装置,这种结构金属构件少、不需要额外开启压力,同时不采用弹簧部件可提高装置在高频冲击作用下的稳定性。

2.3 性能参数

经室内测试,PKQC180 型泡沫锤的性能参数如表 1 所示。

表 1 PKQC180 型泡沫锤性能参数表		
参 数	气体介质	泡沫介质
外径/mm	180	180
配用钻头外径/mm	190~241.3	190~241.3
立管压力/MPa	3~4	3~5
推荐注气量/(m ³ ·min ⁻¹)	80~120	80~120
推荐注液量/(L·s ⁻¹)	—	<3
输出功率/kW	20~25	15~20
冲击频率/Hz	20~25	15~20
推荐钻压/kN	10~30	
推荐转速/(r·min ⁻¹)	20~30	
使用温度/℃	<150	
联接方式	114.3 mmREG(外)	
使用寿命/h	>100	

3 现场试验

为验证泡沫锤在气体和泡沫介质条件下的适应性,2012 年 8 月在松辽盆地深层下白垩统泉头组、登娄库组开展现场试验,试验井位为肇深 17 井。

3.1 总体情况

松辽盆地深层登娄库组、营城组、沙河子组、侏罗系上统火石岭组主要岩性为大段杂色、灰色砂砾岩夹黑色泥岩和少量煤层,以及大面积分布的层状中酸性火山喷发岩,夹少量砂砾岩和凝灰岩,成岩性好,研磨性强,岩石硬度高,常规钻井机械钻速低于 1.5 m/h^[9]。为此开展了气体钻井试验,机械钻速提高 5 倍以上,牙轮钻头进尺增加 2~3 倍^[10],采用空气锤钻井相比气体牙轮提速 1 倍以上^[11]。但气体牙轮钻井提速幅度有限且存在井斜问题^[11],采用空气锤提速可克服井斜问题却常因钻遇出水地层需转换钻井工艺而被迫终止钻进^[9]。为此,新一轮欠平衡现场试验考虑开展

泡沫锤提速试验,增加冲击钻进井段,同时检验泡沫锤的输出功率以及防井下液体倒灌能力。

3.2 试验过程

试验井段为泉头组一段至登娄库组三段,主要岩性为泥岩、粉砂质泥岩及粉砂岩。第二次开钻钻至泉头组一段井深 2 750 m,第三次开钻先采用 Ø215.9 mm 牙轮钻头进行气举和循环干燥,并钻进新地层 10 m 后再下入泡沫锤,钻具组合为:PKQC180—216+430×410 接头+Ø178 mm 强制性箭型止回阀 2 只+Ø178 mm 钻铤+Ø210 mm 方接头+Ø178 mm 钻铤+Ø210 mm 方接头+411×4A10 接头+Ø165 mm 钻铤+411×4A10 接头+Ø127 mm 钻杆。

根据松辽盆地徐深气田外围的出水层定性判识标准^[12]预测第 1 个水层为泉头组一段 2 769.8~2 770.8 m,出水量约 8.3 m³/h(表 2)。实际泡沫锤下钻到底后,即 2 760 m 时循环清洁井底出现返出气体潮湿,判断水层提前沟通,但循环 4 h 后,返出气体干燥。现场决定采用纯气体钻进,钻进参数与空气锤相当,转速 25 r/min,钻压 10 kN,气量 140 m³/min,扭矩 5 kN·m,立压 5.1 MPa,钻时不低于 3~5 min/m。

钻至 2 800.35 m 预测的第 2 个水层提前到达(表 2),现场返出气体潮湿。扭矩波动较大,划眼并循环 1.5 h 后返出,继续采用气体钻井,钻时 3~7 min/m,与空气锤相当。

钻至 2 900 m(2 870 m 进入登娄库组四段),扭矩开始发生波动,预计钻达第 3 个水层(表 2)。2 914 m 接立柱后恢复钻进时返出气体潮湿,判断接换立柱时井下已经出水。循环 30 min 后粉尘返出,现场继续采用气体钻井,钻时 3~15 min/m。

表 2 地层出水预测表					
层位	井段/m	厚度/ m	孔隙度	渗透率/ mD	预测出水量/ (m ³ ·h ⁻¹)
泉头组一段	2 769.8~2 770.8	2.0	10.0%	99	8.3
泉头组一段	2 865.2~2 869.8	3.6	10.4%	156	15.0
登娄库组四段	2 910.5~2 911.5	3.6	10.1%	91	6.3

钻至 3 178.5 m(3 030 m 进入登娄库组三段),返出气体潮湿,观察口伴有小细流,钻遇前期未预测到的第四个水层。循环干燥 8 h 后观察口小细流无改善,现场决定转为雾化泡沫钻进,注液量为 0.8 L/s,泡沫锤开始在泡沫介质下工作,钻压 10~40 kN,转速 25 r/min,扭矩 2~16 kN·m,气量 120 m³/min,液量 0.8 L/s,立压 3 MPa,钻时相比气体条件下增加,为 7~20 min/m。钻至 3 192.58 m 后井壁失稳,短起钻具

时发现遇卡,现场决定转化为常规钻井液钻进,并大力活动钻具解卡。泡沫锤起出后评价检测未发现气室含有岩屑、未发现异常磨损现象。

3.3 试验分析及结论

本次试验井段:2 760~3 192.58 m,共 432.58 m,纯钻时间 40.53 h,机械钻速 10.67 m/h。其中气体钻井井段 2 760~3 178.5 m,共 418.5 m,纯钻 37.36 h,机械钻速 11.2 m/h;雾化钻井井段 3 178.5~3 192.58 m,共 14.08 m,纯钻 3.17 h,机械钻速 4.44 m/h。受井壁失稳影响,泡沫锤在雾化泡沫介质中钻进井段较短,钻速没有发挥明显优势,但相比常规钻井机械钻速提高 2 倍;气体钻井机械钻速相比常规钻井提高 6.5 倍,相比气体牙轮钻井^[10]机械钻速提高 1 倍。泡沫锤在气体介质中相比空气锤输出功率未降低。

试验共钻遇 4 个水层,钻进过程中未发生流体、岩屑倒灌现象,气室内部未受污染,尤其是在钻遇第 3、第 4 个水层时,泡沫锤曾在井下停止流体循环未出现气缸污染而失效现象,防倒灌装置在井下工作可靠。

4 结论与建议

1) 针对空气锤在出水地层适应性差的问题,研制了新型泡沫锤,能适应气体(干气)和雾化泡沫(湿气)钻井介质,具备防止井下液体倒灌的能力。

2) 经松辽盆地徐深气田外围的肇深 17 井开展的泡沫锤现场试验验证,泡沫锤输出功率在气体介质中相比空气锤未降低,在雾化泡沫介质中相比于常规钻井可提高机械钻速 2 倍以上,可有效防止井下液体倒灌。

参 考 文 献

- [1] 孟庆昆,王向东,于兴胜.KQC 系列空气锤在油田气体钻井中的应用[J].石油矿场机械,2007,36(11):54-57.
MENG Qingkun, WANG Xiangdong, YU Xingsheng.KQC series of air hammers for gas drilling in oil fields[J].Oil Field Equipment,2007,36(11):54-57.
- [2] JOHNS R P, WITT C, FREDERICK M. Hammer bits control deviation in crooked hole country [C] // paper 18659-MS presented at the SPE/IADC Drilling Conference, 28 February - 3 March 1989, New Orleans, Louisiana, USA, New York: SPE, 1989.
- [3] REINSVOLD C H, CLEMENT J, OLIVER M, et al. Diamond-enhanced hammer bits reduce cost per foot in the Arkoma and Appalachian Basins [C] // paper 17185-MS presented at the SPE/IADC Drilling Conference, 28 February - 2 March 1998, Dallas, Texas, USA, New York: SPE, 1988.
- [4] 胡贵,孟庆昆,王向东,等.空气锤钻井技术在定向井中的应用[J].石油机械,2012,40(4):18-21.
HU Gui, MENG Qingkun, WANG Xiangdong, et al. Application of air hammer drilling technology in directional wells[J].China Petroleum Machinery,2012,40(4):18-21.
- [5] 胡贵,孟庆昆,王向东,等.泡沫钻井用空气锤工作性能研究[J].石油矿场机械,2009,38(12):5-9.
HU Gui, MENG Qingkun, WANG Xiangdong, et al. Research on operating performance of air hammers in foam drilling[J].Oil Field Equipment,2009,38(12):5-9.
- [6] 王哲,张勇,蒋荣庆.泡沫潜孔锤钻进技术的国内外研究现状[J].西部探矿工程,2001,13(6):95-96.
WANG Zhe, ZHANG Yong, JIANG Rongqing. The present situation of the foam DTH hammer drilling at home and abroad[J].West-China Exploration Engineering,2001,13(6):95-96.
- [7] 陈升,王长生,杜家祥.也门 32 区块空气泡沫钻井技术[J].钻采工艺,2002,25(2):3-4.
CHEN Sheng, WANG Changsheng, SHE Jiaxiang. Air foam drilling technique in Yemen Block 32[J].Drilling & Production Technology,2002,25(2):3-4.
- [8] 胡贵,孟庆昆,王向东,等.空气锤活塞运动规律研究[J].石油机械,2009,37(12):50-53.
HU Gui, MENG Qingkun, WANG Xiangdong, et al. Research on the movement law of the air hammer piston[J].China Petroleum Machinery,2009,37(12):50-53.
- [9] 杨决算.大庆油田气体钻井配套技术及应用[J].石油钻探技术,2012,40(6):47-50.
YANG Juesuan. Matching technology and application of gas drilling in Daqing Oilfield [J]. Petroleum Drilling Techniques,2012,40(6):47-50.
- [10] 李志刚,窦金永,董玉辉,等.大庆油田气体钻井技术现状[J].西部探矿工程,2012,23(7):43-44.
LI Zhigang, DOU Jinyong, DONG Yuhui. Gas drilling technology in Daqing Oilfield [J]. West-China Exploration Engineering,2012,23(7):43-44.
- [11] 刘合,杨智光,张书瑞,等.大庆油田气体钻井技术研究与应用[J].大庆石油地质与开发,2009,28(5):198-202.
LIU He, YANG Zhiguang, ZHANG Shurui, et al. Research and application of gas drilling technology in Daqing Oilfield [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing,2009,28(5):198-202.
- [12] 韩福彬,张洪大,姜玉芳,等.庆深气田深层 $\varnothing 311.1$ mm 井眼气体钻井技术[J].石油钻探技术,2011,39(4):61-65.
HAN Fubin, ZHANG Hongda, JIANG Yufang, et al. Qingshen $\varnothing 311.1$ mm deep hole gas drilling technology [J]. Petroleum Drilling Techniques,2011,39(4):61-65.