

电缆输送式电动液压坐封桥塞技术

王鹏

中国石油大庆油田有限责任公司试油试采分公司 黑龙江大庆 163412

通讯作者:Email:sy_wangpeng@petrochina.com.cn

项目支持:大庆油田有限责任公司试油试采分公司科技研发项目“电缆输送液压坐封桥塞技术研究”(QR/AO/4-2-08-2016002)

引用:王鹏. 电缆输送式电动液压坐封桥塞技术[J]. 油气井测试, 2019, 28(5): 39-43.

Cite: WANG Peng. Wireline electro-hydraulic bridge setting technology [J]. Well Testing, 2019, 28(5): 39-43.

摘要 井下作业使用的电缆桥塞坐封方式基本为火药引爆坐封。火药燃烧不稳定、燃烧过快等因素易造成坐封事故。在已有电缆桥塞研究基础上,重新设计工具结构,研制了一种新型电动液压坐封桥塞。采用此桥塞形成的坐封方式利用电缆连接坐封工具和桥塞下入井内,电机通电后推动液压油向下部桥塞运移,桥塞坐封机构处压力不断增加,最后坐封、丢手,同时对井下施工压力进行实时监测。桥塞坐封成功后,立即停止供电。X65和P67两口井现场试验证明,电缆输送式电动液压坐封桥塞技术坐封时间短,可靠性强,解决了运输雷管炸药等敏感材料和传统桥塞中途坐封问题,适合在深层气井中使用。

关键词 电缆; 桥塞; 液压坐封; 井下压力; 实时监测; 完井

中图分类号:TE353

文献标识码:B

DOI:10.19680/j.cnki.1004-4388.2019.05.007

Wireline electro-hydraulic bridge setting technology

WANG Peng

Formation Testing and Production Testing Company, PetroChina Daqing Oilfield Co., Ltd., Daqing, Heilongjiang 163412, China

Abstract: Gunpowder firing is generally used in the downhole operation of wireline bridge setting. The unstable and rapid gunpowder combustion is easy to cause downhole accident. Based on the available wireline bridge, a new electro-hydraulic bridge was developed by redesigning the tool structure. The wireline is used to connect the setting tool and the bridge into the wellbore. The hydraulic oil is pushed to the lower bridge by the motor after energizing. The pressure of bridge setting tool is increased to achieve bridge setting and releasing. At the same time, the downhole operation pressure is monitored in real time. The power supply is stopped immediately after the bridge setting. Field application in the Well X65 and Well X67 indicates that this wireline electro-hydraulic bridge setting technology shows high efficiency and reliability, which avoids the problems of sensitive material transportation such as detonator and explosive and the problems of conventional bridge setting in advance. This technology is applicable in deep gas wells.

Keywords: wireline; bridge; hydraulic setting; downhole pressure; real-time monitoring; completion

20世纪60年代,桥塞的封顶技术在国外得到证实,80年代传到国内获得广泛使用,取得了很好的效果,推动了我国油田开采开发^[1-2]。上世纪末,研制出了Qz-1型电缆式坐封工具及PN-5型可钻式桥塞,可替代进口成套产品,并且可与进口桥塞坐封工具组件实现互换配套^[3]。但在使用过程中,多次出现坐封失败的事例。分析失败的原因,除因操作失误造成的以外,由坐封工具和桥塞本身引发的事故较少,而由火药驱动装置引起的事故却占了很大比例。坐封作业系统的动力源,推动桥塞完成坐封。火药燃烧不稳定、燃烧过快等因素造成坐封事故^[4-5]。

在几十年的桥塞研发过程中,开发了很多种坐封方式^[6],常见的有机械坐封桥塞、电缆坐封桥塞、液压-机械坐封桥塞、过油管桥塞火药式等。

传统桥塞坐封依靠火药爆炸产生推力,使得工具内活塞与液压缸发生相对位移,通过活塞力传递进行卡瓦的外扩与密封环的压缩^[7]。火药式密封的缺点在于在施工中需要民爆物品,安全系数低,且产生的瞬时推力大,不易控制,容易对工具和套管造成损伤。机械式桥塞坐封工具,需要桥塞连接油管下放,下放时间长,下放精度低,人工成本高^[8-9]。

早在1995年,华北油田测试公司就已经开始使

用了RBP可回收式电缆桥塞^[10]。到了1996年,吐哈油田在桥塞方面更进一步,使用了油管输送液压坐封的欧文式桥塞^[11]。目前,大庆地区广泛使用的桥塞基本为火药引爆,火药式电缆桥塞坐封依靠电缆下放桥塞工具、通电引燃火药爆炸释放能量,形成工具内部零件相对位移,使得张力棒断裂完成坐封、密封^[12-14]。

近年来,我国在国外产品基础上进行了电缆桥塞坐封工具的研究^[15-18]。杨玉梅等^[19]设计出电动式电缆桥塞坐封工具,适用于120℃高温、小尺寸桥塞。贺红民等^[20]设计出一种液压式桥塞坐封工具,其通过井内液柱压力为动力源,通过驱动和液压控制系统,将油井内液体抽入工具中,进行液压坐封。报导也称,回油复位单向阀装置的桥塞坐封工具取得成功应用70多次。

本文在目前国内已有的电缆桥塞思路上进行研究,重新设计了工具结构,除提高了液压泵的輸出压力外,还增加了压力监测,对井下施工压力进行实时监测。不仅可以解决传统桥塞的中途坐封问题^[21],并且不挑剔适用工况,还可以缩短施工时间,在油田勘探和开发中,具有广泛的应用前景。比如在开发中可以堵水使用,可以在煤层气施工中使用,甚至在近些年特别热水平井免钻桥塞方面也可以使用。如果进一步缩短坐封时间,将会具有良好的前景和广阔的使用空间。

1 桥塞坐封力的论证

根据底部桥塞所需要的坐封压力,反向推导出桥塞投放工具所需要提供的坐封压力,在设计中需要论证的内容如下:

1.1 桥塞投放工具设计考虑的因素

桥塞投放工具是桥塞坐封及丢手的关键,电缆输送式电动液压桥塞的投放工具在设计方面需要考虑以下7个方面的因素:

(1)桥塞投放工具是一种电动机械设备,设计上要求它产生足够大的作用力,能推动桥塞,这样才能坐封桥塞。

(2)因为电机需要依靠地面供电,过长的电缆会造成坐封工具的电压降。3 500 m 电缆电阻约为63 Ω,假如电流为1 A,电压降约为63 V。地面交流发电机提供电压为220 V,电流超过3.5 A,所以地面供电就不能输送到电机上。并且考虑采用三芯电缆,传感器也需要供电,需要留出余量。

(3)电机输出为高转速、低扭矩,需要通过减速器降低转速,提升扭矩。

(4)扭矩必须转换为推力,才能提供桥塞坐封的动力,并最终推动桥塞坐封,实现丢手。

(5)由于目前桥塞的丢手压力转换为压强是22 MPa。所以,坐封工具需要提供22 MPa以上的压强。

(6)投放工具的直径不能超过112 mm、重量不能超过100 kg、长度不能超过4 m,否则在吊装过程中,不利于施工。

(7)投放工具需要在最高温度150℃、最大压力50 MPa的环境中正常工作。

1.2 驱动电机的选择

用电机取代火药式工具提供动力,通过连接减速电机提高扭矩,再连接液缸,利用电机的前顶液缸内的液压油,让桥塞丢手和脱开。

让桥塞坐封压力为150 kN,通过计算,作用在直径为93 mm 推杆上的压强需要22 MPa,行程14 cm。

功率大的电机尺寸相对较大。因此,优先选择低功率直流电机。200 W 微型直流电机外径可以做到50 mm,可以装进坐封工具外筒。该电机扭矩为1.7 N·m。由于该泵在额定输出扭矩不够大,需要增加减速器,减小转速,增大扭矩。

通过减速器减速后,扭矩放大4.3倍,变为7.31 N·m,再乘以安全系数0.91,最后电机可以提供的扭矩为6.65 N·m。经过减速器减速后,输出扭矩增大,能够满足坐封桥塞的压力要求。

2 桥塞坐封工具结构及工作原理

结合之前设计论证中的要点以及工程需求,设计出电动送封工具。

2.1 工具结构

图1为电动液压送封工具结构示意图。主要由对接头、正极电芯、浮动活塞、油室、负极电芯、电机、减速器、联轴器、打压泵、坐封管线、压力传感器、下接头、注油通道等组成。

2.2 技术参数

最大外径:φ100 mm;

最大工作压力:120 MPa;

最大工作温度:150℃;

输出压力:70 MPa;

传感器最大承压:70 MPa;

总长:1 800 mm。

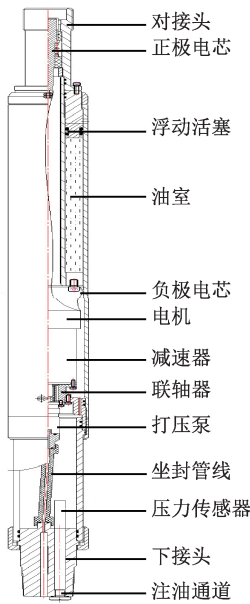


图 1 送封工具结构示意图

Fig.1 Structure diagram of bridge sending tool

2.3 工作原理

桥塞投放工具最上端连接电缆,下部是直流电机和减速箱,向下输入到减速箱。减速箱通过齿轮减速,输出动力给坐封腔,推动坐封腔内活塞向前运动,随着活塞向前运动会上顶桥塞丢手机构。随着上顶越来越紧,待上顶压强升高到 22 MPa 时,桥塞坐封并丢手。

坐封工具的配套设施是增压电源,可以把电缆车发电机提供的 220 V 交流电变为直流电,并且根据需要调节电压大小。

整体工作流程为,用电缆把坐封工具和桥塞下入井内预定位置,在地面使用直流电源通过电缆向井下电机供电,调节电压,启动直流电机。电机转动,通过减速箱减速,推动液压油进而使得桥塞坐封。桥塞坐封时,压力较大,此较大压力会反应在坐封工具的传感器上,通过电缆传输到地面。当坐封完成后,桥塞会立即丢手,压力会瞬时从丢手处释放,地面仪器监测到压力瞬间下降,便得知坐封已经完成,可以切断电源。

3 现场应用

电动液压坐封工具加工完成后,选择了大庆地区松辽盆地中央坳陷区龙虎泡的 X65 井和长垣葡萄花构造的 P67 井进行了现场应用试验。

X65 井是一口预探井,采用 139.7 mm 套管完井,人工井底 1 779.87 m,产油层深度 1 688.6 ~

1 697.6 m。水力压裂后采用水力泵求产,日产油 8.72 m³。

常规试油施工结束后,根据预案,采用电动液压坐封工具打可回收式桥塞,在 1 640.0 m 处封井。于是,按照图 2 井下工具的连接方法,将可取式桥塞连接电动液压坐封工具,再连接上部磁性定位仪,采用三芯电缆下至预定深度附近。然后,用磁性定位仪校深,调整深度,保证桥塞深度正确。

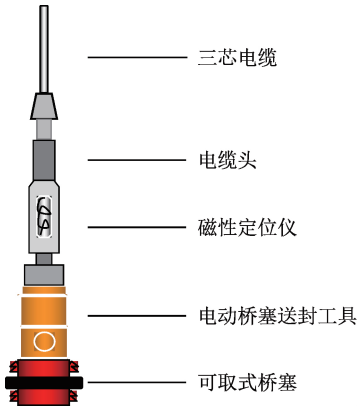


图 2 电动液压坐封桥塞井下管柱结构示意图

Fig.2 Downhole String structure diagram of electro-hydraulic bridge setting

此时,给桥塞送封工具通电,采用地面专用监测仪监测坐封压力。随着压力增大,可知桥塞正在缓慢坐封,压力升高到桥塞坐封压力后,经过短暂稳定压力瞬间变小,说明桥塞已经坐封并丢手,此时切断电源。起出电缆后,通过井口连接泵车试压,压力不降,证明桥塞顺利坐封。本次施工从下入工具到坐封完毕起出工具,共耗时 70 min,获得水力泵排液求产曲线如图 3 所示。

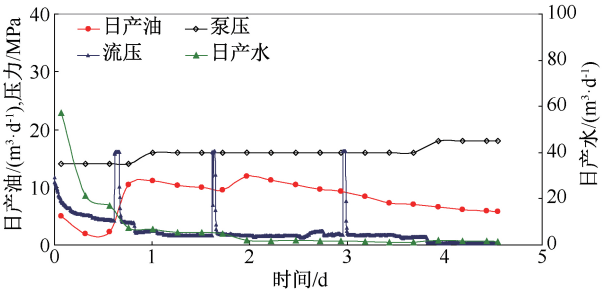


图 3 X65 井水力泵排液压力曲线图

Fig.3 Flowback pressure curve with hydraulic pump in Well X65

P67 井是一口预探井,采用 139.7 mm 套管完井,人工井底 1 820.20 m,产油层深度 1 628.3 ~ 11 749.4 m。测试后压裂,压裂后采用水力泵求产,日产油 10.32 m³,日产水 7.2 m³。水力泵排液压力曲线如图 4 所示。

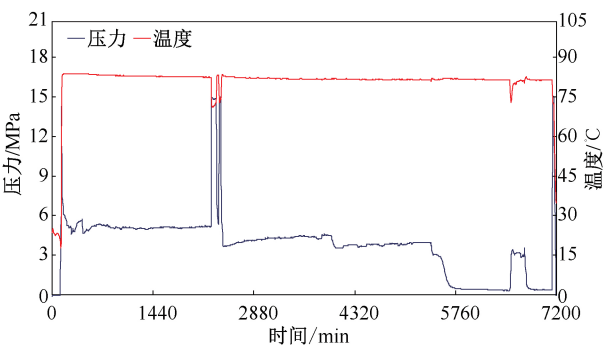


图 4 P67 井水力泵排液压力曲线图

Fig.4 Flowback pressure curve with hydraulic pump in Well X67

按照施工流程,本井在 1 400.0 m 处打可回收式桥塞。施工从下入工具,到坐封完毕起出工具,共耗时 85 min。

通过在 X65 和 P67 两口试油井进行应用试验,证明了电缆输送式电动液压坐封桥塞技术的可行性,应用情况见表 1。

表 1 电缆输送液压坐封桥塞应用概览表

Table 1 Overview of application of hydraulic sealing bridge plug for cable conveyo

| 井号 | 桥塞深度/ m | 日产量/(m ³ ·d ⁻¹) | | 桥塞类型 | 试压压力/ MPa |
|-----|------------|--|-----|-------|--------------|
| | | 油 | 水 | | |
| X65 | 1 640 | 8.72 | / | 可取式桥塞 | 15 |
| P67 | 1 400 | 10.32 | 7.2 | 可取式桥塞 | 15 |

按照一般井封井深度为 800 m 计算施工时间,通过对比以往其他井各种类型桥塞坐封技术可知,电缆输送液压坐封桥塞技术具有自带液压油、不依赖环空液体等特点(表 2)。

表 2 不同桥塞坐封方式对比

Table 2 Comparison of different bridge plug sealing way

| 桥塞类型 | 坐封方式 | 施工 时间/ min | 要求 | 特点 |
|---------|------|------------------|-------|-------------------|
| 液压坐封式 | 液压坐封 | 60 | 无 | 自带液压油,不 依赖环空液体 |
| 电缆通电引爆式 | 火药坐封 | 45 | 有环空液 | 需运输爆炸器材 |
| 管输投杆引爆式 | 火药坐封 | 200 | 管内加液垫 | 管输下入慢,需 运输爆炸器材 |

注:施工时间包括下入工具的时间。

4 结论

(1) 电缆输送式液压坐封桥塞通过电机旋转,推动工具内储油仓的液压油,进而推动桥塞坐封,不仅解决了运输雷管、炸药等敏感材料的问题,还解决了传统桥塞中途坐封的问题,适合在深层气井中使用。对于目前现有的桥塞封层技术,是一个有效的补充,丰富了桥塞封层封井的手段。

(2) 电缆输送式液压坐封桥塞具有安全、快捷、可监测、可反复开关、不依赖泵车等特点,将会取代大量依靠泵车提供动力的井下工具。

致谢:感谢大庆油田有限责任公司试油试采分公司同意本文公开发表;感谢项目组成员在本文数据统计分析中给予的大力支持。

参考文献

[1] 付汉平,汤启星,任利宝,等. 井下作业小修设备钻捞桥塞工艺技术研究[J]. 化工设计通讯,2018,44(4):215,235.
FU Hanping, TANG Qixing, REN Libao, et al. Study on fishing bridging technology downhole drilling equipment repair [J]. Chemical Engineering Design Communications, 2018,44(4):215,235.

[2] 蔺子军. 井下作业小修设备钻捞桥塞工艺技术与应用[D]. 大庆:东北石油大学,2017.
LIN Zijun. Under ground work minor repair equipment bridge plug drilling technology research and application [D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2017.

[3] 刘化国,杨玉生,车登先. 电缆式坐封工具及可钻式桥塞[J]. 石油机械,1994,22(11):53-57.
LIU Huaguo, YANG Yusheng, CHE Dengfeng. Cable Sealing Tool and Drillable Bridge Plug [J]. China Petroleum Machinery, 1994,22(11):53-57.

[4] 王林根,吴泽林,武滨. 低残渣桥塞火药的研究和应用[J]. 油气井测试,2011,20(2):56-58.
WANG Lingen, WU Zelin, WU Bin. Research on low residue bridging gunpowder and its application [J]. Well Testing, 2011,20(2):56-58.

[5] 张虎,马生祖,魏锋,等. 泵送桥塞坐封用复合火药研究[J]. 测井技术,2012,36(5):533-536.
ZHANG Hu, MA Shengzu, WEI Feng, et al. Study on composite powder used in setting pumping bridgd plug [J]. Well Logging Technology, 2012,36(5):533-536.

[6] 张恩伦,刘化国,杨玉生. 桥塞封层工艺技术的发展[J]. 石油机械,2001,29(10):47-50.
ZHANG Enlun, LIU Huaguo, YANG Yusheng. Development of Bridge Plug Sealing Technolog [J]. China Petroleum Machinery, 2001,29(10):47-50.

[7] 冯波,郭勇,赵奇祥,等. 轴向推进式水力油管锚定器的研制与应用[J]. 石油钻采工艺,2014,36(6):112-115.
FENG Bo, GUO Yong, ZHAO Qixiang, et al. Development and application of axial push-on hydraulic tubing anchor [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2014,36(6):112-115.

[8] 章伟. 可取式油管桥塞坐封技术的研究与应用[J]. 科技与企业,2014(14):354.
ZHANG Wei. Research and application of retrievable bridge plug [J]. Science-Technology Enterprise, 2014(14):354.

- [9] 魏辽, 马兰荣, 朱敏涛, 等. 大口径桥塞压裂用可溶解球研制及性能评价[J]. 石油钻探技术, 2016, 44(1): 90-94.
WEI Liao, MA Lanrong, ZHU Mintao, et al. Development and performance evaluation of dissolvable balls for large borehole bridge plug fracturing [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2016, 44(1): 90-94.
- [10] 程北园. RBP可回收式电缆桥塞的原理与应用[J]. 油气井测试, 1995, 4(4): 75-76.
CHENG Beiyuan. The principle and application of retrievable bridge plug[J]. Well Testing, 1995, 4(4): 75-76.
- [11] 龙子乾, 马步青. 欧文可回收式电缆桥塞坐封改进与应用[J]. 油气井测试, 1996, 5(2): 67-69.
LONG Ziqian, MA Buqing. The improvement and application of Owen retrievable bridge plug [J]. Well Testing, 1996, 5(2): 67-69.
- [12] 刘化国, 杨玉生, 车登先. 电缆式坐封工具及可钻式桥塞[J]. 石油机械, 1994, 22(11): 53-57.
LIU Huaguo, YANG Yusheng, CHE Dengxian. Wireline plug tools and drillable bridge plug [J]. China Petroleum Machinery, 1994, 22(11): 53-57.
- [13] 谭玉春. 电缆桥塞技术在川西油气田开发中的应用[J]. 天然气工业, 2002, 22(3): 74-75.
TAN Yuchun. Application of cable bridge plug technique in oil and gas field development in west Sichuan [J]. Natural Gas Industry, 2002, 22(3): 74-75.
- [14] 谭文波, 李红超, 唐建军, 等. 电动液压电缆桥塞坐封工具在应用中出现的問題及处理方法[J]. 石油技师, 2015(1): 112-114.
TAN Wenbo, LI Hongchao, TANG Jianjun, et al. Electrical hydraulic bridge plug trouble shootings in application [J]. Oil Technician, 2015(1): 112-114.
- [15] 苑司军, 王杏梅, 林伟民. 电缆桥塞工艺在胡状油田堵水开发中的应用[J]. 油气井测试, 2001, 10(3): 42-44.
YUAN Sijun, WANG Xingmei, LIN Weimin. The application of wireline bridge plug for water-plugging in Huzhuang Oilfield [J]. Well Testing, 2001, 10(3): 42-44.
- [16] 周小林, 高志华, 张冲. 龙凤山气田大口径免钻桥塞分段压裂先导试验[J]. 油气井测试, 2018, 27(1): 62-67.
ZHOU Xiaolin, GAO Zhihua, ZHANG Chong. Pilot tests of staged fracturing involving large-diameter drill-free bridge plugs in the Longfengshan gas field [J]. Well Testing, 2018, 27(1): 62-67.
- [17] 任源峰, 刘平. Y445-114桥塞在煤层气井压裂中的应用[J]. 油气井测试, 2002, 11(5): 58-59.
REN Yuanfeng, LIU Ping. Application of bridge plug Y445-114 in fracture stimulation of coaled gas wells [J]. Well Testing, 2002, 11(5): 58-59.
- [18] 夏富国, 夏玉琴, 张冲, 等. 免钻桥塞在致密气藏储层改造中的适应性评价[J]. 油气井测试, 2018, 27(6): 63-67.
XIA Fuguo, XIA Yuqin, ZHANG Chong, et al. Feasibility evaluation of drill-free bridge plug in stimulation of tight gas reservoirs [J]. Well Testing, 2018, 27(6): 63-67.
- [19] 杨玉梅, 郑新生. 电动式电缆桥塞坐封工具[J]. 中国化工贸易, 2013(8): 165-157.
YANG Yumei, ZHENG Xincheng. Electronic wireline bridge plug [J]. China Chemical Trade, 2013(8): 165-157.
- [20] 贺红民, 杨新宏, 孙志忠, 等. 一种液压式桥塞坐封工具的设计与应用[J]. 测井技术, 2017, 41(1): 120-122.
HE Hongmin, YANG Xinhong, SUN Zhizhong, et al. Design and application of hydraulic bridge plug sealing tool [J]. Well Logging Technology, 2017, 41(1): 120-122.
- [21] 卢琳, 张麦云, 林军良, 等. Halliburton机械桥塞的改进与应用[J]. 油气井测试, 2004, 13(2): 65-66.
LU Lin, ZHANG Maiyun, LIN Junliang, et al. Development and application for Halliburton mechanical plug [J]. Well Testing, 2004, 13(2): 65-66.

编辑 王 军

第一作者简介:王鹏,男,1984年出生,工程师,2007年毕业于黑龙江科技学院计算机科学与技术专业,现从事试油、测试等技术工作。电话:0459-5687759,15645977710; Email: sy_wangpeng@petrochina.com.cn。通信地址:黑龙江省大庆市让胡路区试油试采分公司工程技术大队试油工艺室,邮政编码:163412。