

# 油气井用回声弹测试装置

李冰,王海东

石油工业油气田射孔器材质量监督检验中心 黑龙江大庆 163853

通讯作者:Email:libing2@petrochina.com.cn

引用:李冰,王海东. 油气井用回声弹测试装置[J]. 油气井测试,2019,28(6):27-31.

Cite: LI Bing, WANG Haidong. Development of an echo bomb test device for oil & gas wells [J]. Well Testing, 2019,28(6):27-31.

**摘要** 为科学公正的评价油气井用回声弹的产品质量,通过对油气井用回声弹产品作用原理分析,研制并建立了油气井用回声弹发火率和爆声声级的检验测试系统。该系统主要由击发装置、控制器、外部电源和接收装置组成,采用标准声级计作为接收装置,接收回声弹的爆声声级信号,信号接收稳定。对采集数据分析和处理,能够科学公正的评价回声弹产品质量,保证了检验工作的科学性和准确性。半自动油气井用回声弹击发装置为全自动回声弹检验技术奠定了基础。

**关键词** 回声弹;射孔器材;发火率;爆声声级;测试;检验;质量评价

中图分类号:TE353 文献标识码:B DOI:10.19680/j.cnki.1004-4388.2019.06.005

## Development of an echo bomb test device for oil & gas wells

LI Bing, WANG Haidong

Perforators Inspection Center of PetroChina, Daqing, Heilongjiang 163853, China

**Abstract:** In order to scientifically evaluate the product quality of echo bomb for oil and gas wells, a test system to measure the fire rate and explosion sound level semi-automatically was established by analyzing the principle of echo bomb for oil and gas wells. This test system mainly consists of a firing device, a controller, an external power source and a receiving device. The standard sound level meter with steady signal receiving performance was adopted as the receiving device to receive the sound level signal. The collected data can be analyzed and processed to scientifically evaluate the product quality of echo bomb and ensure the inspection validity and accuracy. The semi-automatic firing device of echo bomb for oil and gas wells lays a foundation for the full-automatic inspection of echo bomb.

**Keywords:** perforating equipment; echo bomb; fire rate; explosion sound level; data analysis; quality inspection

油气井用回声弹(以下简称回声弹)是一种利用回声原理测量油气井液面深度所用的火药发声器材。油井的液面深度参数直接反映了地层的供液情况及井下供排关系,是进行采油工艺适应性评价和优化的关键数据之一。根据声波在不同介质中传播时,速度、幅度及频率的变化等声学特征不相同的特性<sup>[1]</sup>,在开采过程中,定期使用回声弹可以监测油井的开采情况,获取油井的液面开采信息,评价油井的可预计产量。可见,回声弹在很多方面都起着重要的作用。陈思维<sup>[2]</sup>针对使用回声弹测试等问题,采用无线远程控制的电控气爆脉冲声源,研制开发出动液面远程在线监测系统,实现液面的连续监测和远程采集。王金兴等<sup>[3]</sup>提出了产液剖面对油田控水增油的重要意义。朱巍<sup>[4]</sup>、崔传智等<sup>[5]</sup>对产液剖面及其测井技术进行分析,探究

了产液剖面技术实施原理,以控制纵向驱替效果。罗威等<sup>[6]</sup>针对产液剖面预测方法,进行理论分析和修正,并对其局限性进行说明。徐昊洋等<sup>[7]</sup>为了评价产液剖面,定性定量分析解释了各段产液状况。郭正权<sup>[8]</sup>利用动态监测手段,分析研究了产液剖面测井在青海油田生产井中的应用。杜四辈等<sup>[9]</sup>评价了产液剖面测试技术在低渗透油藏的适应性。姚华<sup>[10]</sup>根据特低产液井特点,提出剖面分层测试技术难题的解决方法。苏春娥等<sup>[11]</sup>针对深井、高油气比油井的动液面测试结果不准确、声波能量衰减快等情况,以及现有测试枪存在不足等问题,采用了气压组合型测试枪,声源为声弹、套管气、氮气,与常规方法测试曲线对比,氮气声源测试的液面反射波标准、清晰,易于定位,特别适用于高油气比油井的动液面测试,在陇东油田三叠系油井取得了较好

应用效果。李明等<sup>[12]</sup>针对声波法和环空测试动液面误差大、操作复杂等问题,研究了基于声波法的井下参数自动采集技术。通过现场试验,验证了井下参数无线采集设备满足长距离声波信号传输要求。与环空测试相比,节省了测量成本。李爽<sup>[13]</sup>针对声波法测动液面可能造成误差的几个问题进行研究,分析了声波法测动液面过程中噪声产生的原因,指出了改进的方向。张朋等<sup>[14]</sup>针对目前油井液面深度测试系统测量范围小、误差大、稳定性低的缺点,提出了基于声波法测动液面原理,利用时间序列分析技术、新息自适应卡尔曼滤波技术来实时检测回波信号,进而实现对油井液面深度的高精度测量和噪声处理。苏娟<sup>[15]</sup>针对油井液面声波实时监测技术进行了研究。任源峰等<sup>[16]</sup>针对煤层气排采的特殊性要求,研制出了煤层气井液面测试仪。黄甫王欢等<sup>[17]</sup>针对回声法动液面实时动态监测等问题,结合回声法测量原理与现场实际应用,从监测原理、监测仪器、油井井况等方面,分析了影响回声法监测油井动液面的主要因素。刘通等<sup>[18]</sup>通过回声仪环空液位测试法,建立了积液水平井井筒压力与液位预测新方法,能够正确预测积液水平井油管及油套环空中的液位及压力,时效性优于传统测压方法。孔岳等<sup>[19]</sup>针对回声法监测油井动液面,利用次声波在油套环形空间传播,遇到液面时产生反射信号的原理对动液面进行连续测量。但随着石油勘探开发技术的不断完善,回声弹的品种也在不断增加,油气田勘探开发用户在购置和使用产品时,只能进行简单的外观验收,缺乏对产品的整体性能的了解,国内也缺乏对相关产品的系统研究,全国各回声弹生产厂家出厂检验的项目、技术指标和评价标准也不相同,产品质量难以准确评价和控制。油气田勘探开发用户无法根据科学有效的检验数据,优选使用回声弹。根据SY/T6754-2009《油气井用回声弹通用技术条件及检测方法》的标准,回声弹发火率和爆声声级是回声弹测试的两项重要的技术参数。因此,研制一套回声弹发火率和爆声声级测试系统尤为重要。该套装置能够为油气田勘探开发用户把好射孔器材质量关提供技术支持,为生产厂家促进产品质量提高提供科学有效的检验数据,为油气田勘探开发用户优选回声弹提供参考。

## 1 回声弹测试系统组成及原理

回声弹测试系统主要由击发装置、控制器、外部电源组成。击发装置主要由弹仓转盘、弹仓盖、

弹仓盖提手、控制线输入接口、支撑座、电机、信号灯等组成(图1a)。其中弹仓转盘内腔安装可更换式弹仓转盘,弹仓盖在测试回声弹爆声声级时,盖上的撞针受到电机的驱动,击发回声弹,同时弹仓盖与弹仓安全锁一同起到防护测试装置的作用。弹仓盖和支撑座通过轴承相连接,电机与弹仓盖提手焊接在弹仓盖上,信号灯安装在电机上,支撑座上部接有控制线输入接口,控制线输入接口与电机数据线相连接,支撑座上部还设有声波传输孔道,用于传输回声弹的声波。控制器主要由控制器输入接口、中央处理器、控制器保护箱组成(图1b)。控制器输入接口安装在中央处理器的下部,用于传输旋转弹仓和击发回声弹的信号,同时给击发装置供应电源,旋转按钮与发射按钮安装在中央处理器的中部,用于触发旋转和击发功能,中央处理器上还安装了电源指示灯与电源开关,当打开电源开关,蓄电池向中央处理器提供电源,中央处理器与蓄电池安装在控制器保护箱内。外部电源主要由充电器和蓄电池组成(图1b),蓄电池安装在控制器保护箱内,采用电源线、数据线与控制器连接,充电器与蓄电池采用电源线进行连接。



图1 回声弹测试装置组成图

Fig.1 Composition of echo bomb test device

回声弹发火率和爆声声级测试系统主要由击发装置、控制器和外部电源、声级计组成。该装置击发回声弹端口与地面距离为500 mm,一次可以装

填多发回声弹。接收装置采用标准声级计,可以精确测试回声弹爆声声级。测试实验过程中,回声弹安装在可更换式弹仓的内腔中。将击发装置、控制器和外部电源接通后,打开中央处理的电源开关,触发击发按钮和旋转按钮,触发一次击发按钮,撞针击发一次,然后再触发旋转按钮,弹仓转盘转动一个回声弹弹仓的距离,撞针对准下一发回声弹,依次击发。爆声声级由标准声级计接收,记录数据,声级计符合 GB/T 3785.1-2010《电声学 声级计》的规定,并定期校验。测量前后使用声校准器校准测量仪器的示值偏差不得大于 0.5 dB,声校准器满足 GB/T 15173-2010《电声学声效准器》对 1 级或 2 级声校准器的要求。

2 测试方法

采用回声弹测试装置检验回声弹的发火率和爆声声级两项技术指标,主要分为以下四个步骤:

2.1 安装回声弹

逆时针旋转回声弹弹仓开关锁,打开弹仓仓盖,将 8 枚回声弹依次放入弹仓内,关闭回声弹仓盖;将开关锁右旋直至回声弹仓门紧锁。同时,调整回声弹弹仓,对准弹仓刻度线。

2.2 连接仪器设备

打开控制箱,将两条控制线和击发装置对应连接。将电源线正极(红色)和负极(蓝色)分别接于 12 V 直流电源的电瓶正极和负极上,打开控制电源箱的电源开关(LIGHT),控制箱绿色指示灯和击发器红色指示灯同时亮起。

2.3 击发回声弹

检查回声弹弹仓底座三角方向指针对准回声弹仓刻度线,再确定电源线正极和负极分别接于 12 V 直流电源的正极和负极电源上,触发控制箱绿色按钮,击发第一发回声弹。回声弹击发后,触发红色按钮,弹仓顺时针旋转 45°;再次触发绿色按钮,击发第二发回声弹。按照上述操作规程和步骤,依次击发 8 发回声弹,并记录数据。

2.4 试验结束

关闭控制箱电源,逆时针旋转开关锁,打开弹仓盖,从弹仓下面的弹孔上推弹堂,并依次取出击发的回声弹。依次拆下电源线和两条控制线,装入控制箱。放下弹仓盖,将开关锁右旋,直至弹仓门锁紧。

3 回声弹性能测试

根据 SY/T 6754-2009《油气井用回声弹通用技术条件及检测方法》的标准要求,对目前国内油气田勘探开发用户在用的 6 种不同型号的回声弹进行发火率和爆声声级测试。各型号回声弹对应的装药量见表 1,每种型号测试 20 发,发火率达 100%。爆声声级试验数据见表 2,回声弹爆声声级数据分析对比如图 2 所示。

表 1 各型号回声弹对应的装药量

Table 1 Charge amounts of different echo bomb types

回声弹型号	M1	M2	M3	M4	M5	M6
装药量/g	2.0	2.4	2.8	3.7	15.0	20.0

表 2 回声弹爆声声级试验测试数据表

Table 2 Sound level test data of echo bomb

试验 次序	各产品爆声声级/dB					
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
1	116.0	118.9	117.9	119.5	118.7	124.7
2	117.0	118.5	118.4	117.6	118.9	123.5
3	117.4	117.8	118.6	117.5	119.2	119.7
4	117.5	117.0	115.7	117.8	119.5	121.5
5	116.9	117.6	118.5	118.9	118.1	124.0
6	117.1	117.7	118.4	118.0	118.5	121.3
7	117.2	117.6	119.2	117.4	118.2	121.2
8	116.7	117.9	117.5	117.6	118.9	122.6
9	116.8	118.2	119.5	118.0	118.4	122.7
10	117.2	119.0	117.6	118.5	118.6	122.8
11	117.2	116.9	117.5	118.2	115.7	124.2
12	117.8	116.8	117.8	117.9	118.5	124.0
13	117.9	117.9	117.7	118.4	119.7	123.5
14	117.6	117.5	118.1	118.6	119.8	124.5
15	116.3	115.8	117.6	115.7	119.7	121.0
16	117.8	118.4	117.6	118.5	119.8	123.5
17	117.0	117.9	117.9	115.7	120.5	122.6
18	117.8	118.5	118.3	118.5	121.1	125.0
19	116.5	118.2	118.0	118.4	117.9	122.8
20	116.4	117.9	117.0	119.2	118.8	125.4
平均值	117.1	117.8	117.9	118.0	118.9	123.0

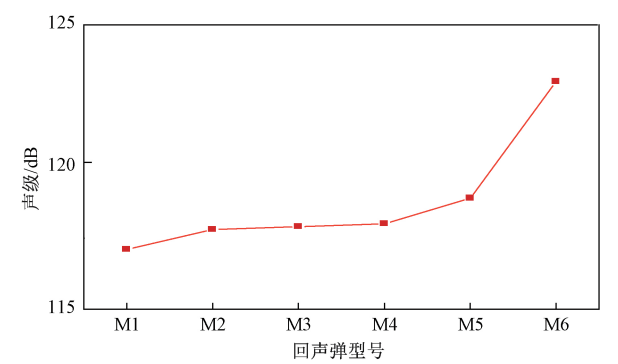


图 2 回声弹爆声声级数据分析对比如  
Fig.2 Comparative analysis of echo bomb sound level data



根据试验数据分析表明,测试 6 种不同型号的回声弹发火率 100%,标准声级计接收信号稳定。随着回声弹装药量的增大,爆声声级的分贝也随之升高,满足现场油气井用测试的需求,数据科学公正。测试装置击发稳定,自动旋转,安全可靠,能够实现连续测试作业。

满足对不同型号的回声弹按照标准进行检验的要求。

4 应用实例

2017 年,应用新型回声弹测试装置开展检验工作。依据 SY/T 6754-2009《油气井用回声弹通用技术条件及检测方法》标准,针对目前油气田勘探开发用户现场应用的不同型号产品进行了质量检验,全年共计检验 6 个型号总计 15 批次产品,其中第 1 批次产品爆声声级技术指标低于标准要求(表 3);第 11 批次某厂家 B2 型号产品,回声弹爆声声级项目检验值低于判定值。依据标准判定规则,判定该批次产品质量检验不合格,从而杜绝了该产品进入油气田市场,保证了勘探开发施工质量。

表 3 回声弹爆声声级项目检验数据表  
Table 3 Explosion sound level test data of echo bomb

批次	型号	爆声声级/dB		检验结果
		检验值	判定值	
1	A1	110.0	105.0	合格
2	A1	111.0	105.0	合格
3	A2	115.1	110.0	合格
4	A2	117.5	110.0	合格
5	A2	116.9	110.0	合格
6	B1	117.1	110.0	合格
7	B1	117.2	110.0	合格
8	B1	116.7	110.0	合格
9	B1	116.8	110.0	合格
10	B2	116.2	115.0	合格
11	B2	110.2	115.0	不合格
12	C1	127.8	120.0	合格
13	C1	127.9	120.0	合格
14	C2	129.6	125.0	合格
15	C2	129.3	125.0	合格

现场应用证明,该套装置能够连续击发,声级计接收信号稳定,测试结果精确,能够满足 SY/T6754-2009《油气井用回声弹通用技术条件及检测方法》的标准用于检验回声弹质量的要求,能够科学公正的评价回声弹的产品质量水平,填补了国内回声弹检验项目的空白。

5 结论

(1)回声弹测试装置具有击发可靠,发火安全、

易装卸等优点,是国内首创的半自动回声弹击发检验装置。采用标准声级计作为接收装置,接收回声弹的爆声声级信号,能够科学公正的评价回声弹产品质量,保证了检验工作的科学性和准确性,为回声弹生产厂家提高产品质量和改进产品性能提供了数据支持。回声弹测试装置的研制有利于促进回声弹行业整体质量水平的提高,为石油行业勘探开发用户优选产品提供依据,为油气田市场把好回声弹产品质量关。

(2)回声弹测试装置采用新型中央处理器以及弹仓转盘设计,能够对回声弹进行连续击发。试验数据表明可靠性高,击发稳定,同时配合标准声级计进行测试,用于检验回声弹的发火率和爆声声级两项技术参数,能够满足 SY/T 6753-2009《油气井用回声弹通用技术条件及检测方法》的检验产品相关要求,适用于回声弹生产厂家出厂检验测试、射孔器材质检机构质量检验测试和油气田用户的产品验收测试。

(3)油气井用回声弹测试装置的研制能为油气田勘探开发用户提供有效的数据参考,保证油气田勘探开发的施工质量,为油气田勘探开发提供了技术支撑,为下一步实现全自动回声弹检验技术奠定了基础。

致谢:感谢大庆油田采油工程研究院射孔器材质量监督检验中心在本文撰写过程中给予的支持。

参考文献

[1] 王群. 矿场地球物理测井[M]. 北京:石油工业出版社, 2002:53.

[2] 陈思维. 油井动液面远程在线监测技术应用[J]. 石油石化节能,2013,3(12):18-19,24.

CHEN Siwei. Application of dynamic liquid level remote online monitoring technology in oil wells [J]. Energy Conservation in Petroleum & Petrochemical Industry, 2013,3 (12):18-19,24.

[3] 王金兴,唐洛,曲天虹,等. 产液剖面在特高含水生产井中的测井应用[J]. 石油地质与工程,2012,26(2):131-133.

WANG Jinxing, TANG Luo, QU Tianhong, et al. The well logging application of liquid producing profile in the high water producing well [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2012,26(2):131-133.

[4] 朱巍. 产液剖面测井技术研究[J]. 中国石油和化工标准与质量,2014,34(3):67.

ZHU Wei. Research on the technique of producing liquid profile logging [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2014,34(3):67.

- [5] 崔传智,张继庆,杨勇,等. 断块油藏典型井组特高含水期配产配注优化研究[J]. 科学技术与工程, 2013, 13(3):697-700.  
CUI Chuanzhi, ZHANG Jiqing, YANG Yong, et al. Optimization research on production and injection rate proration for typical well groups of fault block reservoir in extra high water cut stage [J]. Science Technology and Engineering, 2013, 13(3):697-700.
- [6] 罗威,郭小哲,黄远杨,等. 直井产液剖面预测及分层控水效果计算方法[J]. 油气井测试, 2018, 27(5):1-6.  
LUO Wei, GUO Xiaozhe, HUANG Yuanyang, et al. Prediction of production profile and evaluation method of stratified water control effect in vertical wells [J]. Well Testing, 2018, 27(5):1-6.
- [7] 徐昊洋,王燕声,牛润海,等. 水平井连续油管输送存储式产液剖面测试技术应用[J]. 油气井测试, 2014, 23(3):46-48.  
XU Haoyang, WANG Yansheng, NIU Runhai, et al. Application of memory fluid production profile testing technology conveyed by coiled tubing to horizontal well [J]. Well Testing, 2014, 23(3):46-48.
- [8] 郭正权. 产液剖面测井在青海油田的应用及效果分析[J]. 石油天然气学报, 2012, 34(9):97-100.  
GUO Zhengquan. Application of produced fluid profile logging in Qinghai Oilfield and its effect analysis [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2012, 34(9):97-100.
- [9] 杜四辈,刘强灸,雒文杰,等. 低渗透油藏产液剖面测试技术评价及应用[J]. 石油化工应用, 2018, 37(1):87-90.  
DU Sabei, LIU Qiangjiu, LUO Wenjie, et al. Evaluation and application of low permeability reservoir fluid producing profile test technology [J]. Petrochemical Industry Application, 2018, 37(1):87-90.
- [10] 姚华. 特低产液井产出剖面分层测试技术的探讨[J]. 内蒙古石油化工, 2014, 40(2):95-97.  
YAO Hua. Discussion on the separate-layer production profile test technology of ultra-low production liquid well [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2014, 40(2):95-97.
- [11] 苏春娥,董文魁,白红艳,等. 陇东油田油井液面测试技术的改进与应用[J]. 石油矿场机械, 2011, 40(11):80-84.  
SU Chun'e, DONG Wenkui, BAI Hongyan, et al. Improvements and application of dynamic oil well level test technology in Longdong Oilfield [J]. Oil Field Equipment, 2011, 40(11):80-84.
- [12] 李明,任桂山,刘晴,等. 基于声波法的井下参数自动采集技术在大港油田的试验[J]. 中国石油和化工, 2012(1):50-51.  
LI Ming, REN Guishan, LIU Qing, et al. Test of down-hole parameter automatic acquisition technology based on acoustic method in Dagang Oilfield [J]. China Petroleum and Chemical Industry, 2012(1):50-51.
- [13] 李爽. 声波法测量动液面误差分析与研究[J]. 中国化工贸易, 2015(12):189.  
LI Shuang. Analysis and research on the error of dynamic and liquid level measurement by acoustic wave method [J]. China Chemical Trade, 2015(12):189.
- [14] 张朋,杨益,范福玲,等. 基于超声波和云测试的油井液面测试系统研究[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(6):1907-1911.  
ZHANG Peng, YANG Yi, FAN Fuling, et al. Study of oil well remote monitoring system based on ultrasonic distance measurement and cloud testing [J]. Computer Measurement & Control, 2015, 23(6):1907-1911.
- [15] 苏娟. 油井液面声波实时监测技术研究[J]. 电脑迷, 2016(8):138.  
SU Juan. Real-time monitoring technology of oil well liquid level acoustic wave [J]. PC Fan, 2016(8):138.
- [16] 任源峰,罗毅. 煤层气井液面测试仪的研制与应用[J]. 油气井测试, 2008, 17(3):70-71.  
REN Yuanfeng, LUO Yi. Development and application of testing liquid level instrument in coal bed gas well [J]. Well Testing, 2008, 17(3):70-71.
- [17] 黄甫王欢,张乃禄,范琳龙,等. 回声法监测油井动液面影响因素分析与对策[J]. 石油工业技术监督, 2017, 33(7):1-3, 28.  
HUANG PU Wanghuan, ZHANG Nailu, FAN Linlong, et al. Analysis and countermeasure of influencing factors of echo method monitoring oil well moving fluid level [J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 2017, 33(7):1-3, 28.
- [18] 刘通,郭新江,王雨生,等. 川西积液水平井井筒压力及液位预测[J]. 石油钻采工艺, 2017, 39(1):97-102.  
LIU Tong, GUO Xinjiang, WANG Yusheng, et al. Borehole pressure and liquid level prediction of liquid-loading horizontal wells in West Sichuan [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2017, 39(1):97-102.
- [19] 孔岳,张瑞超,张志华,等. 抽油机井动液面测量方法研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2018, 38(15):33-35.  
KONG Yue, ZHANG Ruichao, ZHANG Zhihua, et al. Study on Dynamic Liquid Level Measurement Method for Pumping Well [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2018, 38(15):33-35.

编辑 刘振庆

**第一作者简介:**李冰,男,1982年出生,硕士,工程师,2008年毕业于安徽理工大学应用化学专业(弹药工程方向),现从事民用火工品和石油射孔器材检测及管理工作。电话:0459-4695597, 15045884802; Email: libing2@petrochina.com.cn。通信地址:黑龙江省大庆市红岗区创业庄射孔器材检验中心,邮政编码:163853。