

油气井用压力式起爆装置性能测试技术

李冰^{1,2}

1. 中国石油大庆油田有限责任公司采油工程研究院 黑龙江大庆 163453

2. 大庆油田油气井工程质量监督站 黑龙江大庆 163453

通讯作者: Email: libing2@petrochina.com.cn

引用: 李冰. 油气井用压力式起爆装置性能测试技术[J]. 油气井测试, 2023, 32(2): 35-40.

Cite: LI Bing. Performance testing technology of pressure-activated detonating devices for oil and gas wells[J]. Well Testing, 2023, 32(2): 35-40.

摘要 为了提高油气井用射孔器材的检验能力,科学公正评价油气井用压力式起爆装置的整体性能和质量,研制并建立了高温高压釜体测试系统。通过分析油气井用压力式起爆装置的起爆机理,利用计算机系统、可编程逻辑控制器系统、液压电控系统、液压系统和温度控制系统,采用程序实时控制进行试验测试和数据分析。结果表明:高温高压釜体测试系统试验压力最高可达 100 MPa,最高试验压差 100 MPa,耐温最高可达 300 ℃,起爆成功率 100%。油气井用压力式起爆装置性能测试技术可降低射孔施工安全风险,为油气田勘探开发高质量施工提供技术支撑。

关键词 压力式起爆装置;高温高压;釜体;液压系统;射孔器材;检验技术;质量评价

中图分类号: TE257 **文献标识码:** B **DOI:** 10. 19680/j. cnki. 1004-4388. 2023. 02. 007

Performance testing technology of pressure-activated detonating devices for oil and gas wells

LI Bing^{1,2}

1. Daqing Oilfield Production Technology Institute, Daqing, Heilongjiang 163453, China

2. Daqing Oilfield Oil and Gas Well Engineering Quality Supervision Station, Daqing, Heilongjiang 163453, China

Abstract: To improve the inspection capacity of perforation equipment and scientifically evaluate the overall performance and quality of pressure-activated detonating devices for oil and gas wells, a high-temperature and high-pressure kettle testing system was developed. By analyzing the detonation mechanism of pressure-activated detonating devices for oil and gas wells, and using computer system, programmable logic controller system, hydraulic-electric controlling system, hydraulic system, and temperature controlling system, the experiment was conducted and the data was analyzed in real-time using a programmed controlling method. The results show that the high-temperature and high-pressure kettle testing system exhibits the maximum test pressure of 100 MPa, the maximum test pressure difference of 100 MPa, the maximum temperature resistance of 300 ℃, and the detonation success rate of 100%. The proposed performance testing technology of pressure-activated detonating devices for oil and gas wells can reduce the safety risks of perforation operation and provide technical support for high-quality exploration and development operations.

Keywords: pressure-activated detonating device; high-temperature and high-pressure; kettle body; hydraulic system; perforating equipment; inspection technology; quality evaluation

油气井用起爆装置是当前油气田勘探开发普遍应用的一种射孔完井起爆装置,主要分为机械撞击式起爆装置(投棒式起爆装置)和压力激发式起爆装置(压力式起爆装置)^[1]。压力式起爆装置的起爆机理是在井口施加一定的压力,该压力作用于压力式起爆装置活塞上,活塞在井口施加的压力和井液压力的共同作用下,剪断剪切销后快速运动,激发点火装置,引爆起爆器,进而起爆射孔弹,是油气井勘探开发射孔完井中的重要起爆器材。油气

井射孔作业中对压力式起爆装置的起爆安全性能和稳定性能具有较高要求,施工过程中起爆装置在井下发生早爆现象或者拒爆现象,对射孔作业将造成巨大经济损失,严重甚至会造成现场施工人员安全事故。开展压力式起爆装置起爆性能的检测技术研究,不但能促进起爆装置生产厂家提高产品质量,也将有效杜绝勘探开发中射孔作业安全事故和质量事故。

国内有很多石油专家和学者已开展了油气井

用起爆装置的实际应用和理论研究,唐凯等^[2]在8 000 m超高温超高压超深井射孔配套应用技术中,使用压力式起爆器在210℃、180 MPa等理论起爆值条件下,加压至175 MPa成功剪切销钉,形成了一套超高温超高压的射孔器材使用和施工工艺技术。孙建兵等^[3]结合某一型压力起爆装置的结构特点和生产实践经验,阐述压力起爆装置在射孔工艺中的应用。杜海鹏等^[4]在某一油田水平井射孔技术研究与应用中,根据射孔井段垂深,水平井地层的吸水指数、附加安全值来设定起爆压力。张福祥等^[5]在库车“三超”井射孔工艺中阐述了超高压起爆装置的剪切销钉设置及其使用情况。徐培刚等^[6]在分析施工过程中连续油管传输射孔异常情况下,在射孔枪上安装压力式起爆装置,应用效果表明既可以防止井筒流体倒灌涌入连续油管,又避免了圈闭高压的产生。王海东等^[7]在连续多级射孔技术在水平井应用中,采用配套的某一型高压压力起爆装置,通过加压的方式激发第一级射孔作业。该起爆装置耐压105 MPa,耐温160℃。陆应辉等^[8]在连续油管隔板延时分簇射孔技术的现场应用中设计起爆压力60.18 MPa,最高设计泵压38.43 MPa,最低设计泵压32.43 MPa。何斌^[9]在某一井射孔—测试联作意外射孔原因分析中,建议适当增加剪销剪断压力附加值,预防意外射孔。张凤武^[10]在射孔新工艺新方法及应用中,投棒加压一体化点火装置取得较好的应用效果。乔亚波^[11]在射孔用压力起爆装置起爆精度分析中,分析了影响压力起爆装置的因素及控制措施,解决了起爆精度不高的控制难题,并制定措施,提高了相应的起爆精度。贺红民等^[12]在水平射孔技术中,利用增压装置与压力起爆装置结合应用,解决了水平井多个层位同时射孔的问题,取得了较好效果。张维山等^[13]在液压延时射孔起爆装置的现场技术应用研究实践中,通过压力的升降控制延时系统,延时系统利用井筒压力和液压油的流动阻力控制延时时间,解锁点火装置,最终利用井筒压力引爆起爆器,实现射孔枪的起爆。马金良等^[14]在一趟管柱分层射孔与水力泵排液联作技术中,利用压力式起爆装置和安全投棒式起爆装置的不同激发原理,取得了较好的应用效果。王芝尧等^[15]在一趟管柱实现分层射孔和试油联作的思考中,分析了压力式起爆装置在一趟管柱分层射孔试油联作技术中的应用。王秀芝等^[16]阐述在油气井用起爆器材的诞生和发

展过程中,压力激发式起爆器及其使用原理。赵海文等^[17]阐述在油气井射孔安全起爆技术的课题研究中,安全压力式起爆装置的使用及其结构原理。王耀忠^[18]阐述在油管输送射孔撞击式安全电起爆系统的研制中,油管输送射孔撞击式安全电起爆技术并进行了实际应用。王成振^[19]在油管输送射孔多级起爆技术分析中,阐述了多级压力式起爆技术的原理及应用。王峰等^[20]在油管传输射孔用压差起爆装置的研制与测试中,阐述压差式起爆装置的设计及实际应用。陈免等^[21]在油管传输多级投棒起爆技术及应用中,阐述了投棒式起爆装置的结构原理及现场应用。但是都无法科学准确的评价油气井用压力式起爆装置产品质量,没有建立统一的评价检验方法和检验标准,所以开展油气井用压力式起爆装置性能测试技术研究应用很有必要。

1 测试原理

压力式起爆装置按加压式方式可分油管加压式和环空加压式两种类型。油管加压式多用于常闭式射孔工艺,环空压力起爆器多用于座封隔器的常开式射孔工艺。

油管加压式起爆装置以油管中的井液压力和地面井口施加压力为激发源,并设置了点火机构。安全销的数量和强度极限是起爆装置设计的关键参数。根据起爆装置在井中的深度及压井液密度计算安全销的个数和尺寸^[22]。计算公式为

$$n = \frac{h \cdot p}{B \cdot 100} + M$$

式中: h 为井深,m; p 为压井液密度,g/cm³; B 为单个安全销剪切强度,MPa; M 为附加销钉数。

环空加压式起爆装置是利用环空和油管之间的压力差释放撞针,以管内液体静压力推动撞针,击发起爆装置,进而引爆射孔枪。起爆装置虽然采用了相同的压力式点火机构,但采用了两种不同的压力传输接头和封隔器转换器。其原理是:压力传输接头将封隔器上方的环空压力传输到点火机构,当环空压力与油管压力之间的差值达到预定值时,驱动活塞开始向上运动,剪断安全销,释放撞针,撞击点火帽,完成点火。

根据SY/T 6791-2010《油气井油管输送射孔起爆装置通用技术条件及检测方法》部分中规定,压力式起爆装置需要对耐高温性能、耐温耐压性能、不发火性能和发火及输出性能进行检验等项目进

行检验。压力式起爆装置耐高温性能测试原理是将压力式起爆装置放入高温高压釜体内进行加温,采用电炉加热方式,模拟射孔施工过程中油气井深层高温环境,并通过液压温度控制系统,对压力式起爆装置进行耐高温性能测试,表 1 列出了两种压力式起爆装置的耐温指标。压力式起爆装置的耐温耐压性能、不发火性能和发火及输出性能测试,主要采用液压系统对高温高压釜体(以下简称大釜体)及其内部的小釜体进行加压,当大釜体和小釜体达到一定压力后,根据产品测试性能参数,液压系统可以分别对大、小釜体继续进行升压或者泄压,以产生两釜体内的压力差,通过压力差测试压力式起爆装置不发火性能和发火及输出性能,评价压力式起爆装置起爆性能的稳定性。

表 1 压力式起爆装置耐温性能指标

Table 1 Temperature resistance performance index of pressure-type Pressure-type detonator

序号	型号	48 h	100 h
1	高温型	≥160 ℃	≥140 ℃
2	超高温型	≥220 ℃	≥200 ℃

2 系统组成

高温高压釜体系统采用了机械设计、电子控制和计算机编程等技术,其主要由五部分组成,如图 1 所示,其液压系统采用计算机进行建模与仿真,利用模糊控制技术保证了压力和压差的稳定,实现了对油气井用压力式爆装置加温、恒温 and 发火的测试试验,为了建立压差,釜体设计了两套压力线路。该釜体适用于目前国内所有规格的压力式起爆装置,主要功能有自动控制升压功能;压差测试功能;高温测试功能;高温高压条件下爆轰测试功能;自动恒温及降温功能。

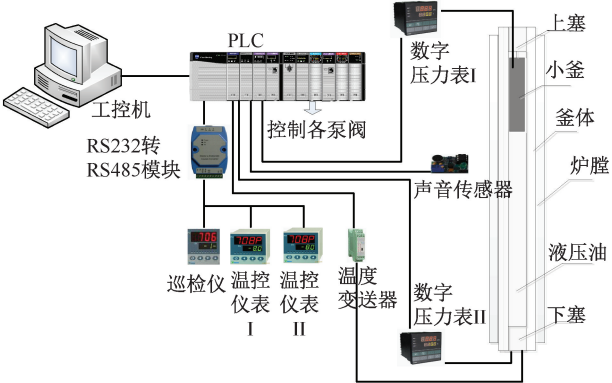


图 1 高温高压釜体系统组成示意图

Fig. 1 Schematic diagram of composition of high-temperature and high-pressure kettle system

(1)计算机系统:主要通过工控机及上位机软件设计的程序与超高压系统及温度控制系统形成实时互动,达到对整套系统的集成化的计算机控制,使用下位机通讯软件 RSlinx,人机界面 RSView,数据记录处理软件 Microsoft Office 等软件对整个系统进行控制。

(2)可编程逻辑控制器系统:主要通过接收上位机指令,对超高压控制系统和高温控制系统进行实时控制以及数据采集处理反馈给上位机,运用 PLC 作为对控制系统的控制器迅速安全稳定可靠,是目前工业控制中普遍采用的一种控制方式。

(3)液压电控系统:主要通过各种继电器、时间继电器、软启动器等控制元件对液压系统的各个组成部分如液压泵、超高压泵、循环油泵、控制阀等进行控制,其接收 PLC 的指令响应迅速,自建的安全保护系统有效保护液压系统正常工作,并能及时将液压系统的工作状态及时反馈给 PLC,从而使操作人员能够十分容易的对液压系统工作状态进行监控。

(4)液压系统:原理示意图如图 2 所示,此套系统由升压系统,循环油泵、单向阀、控制阀、安全阀、缓冲器及液压管路等部分组成。系统工作分为压差起爆方式和引爆方式两种。根据技术指标要求,可以实现系统循环供油、两釜同时升压、大小釜单独升压卸压及超压保护等功能。

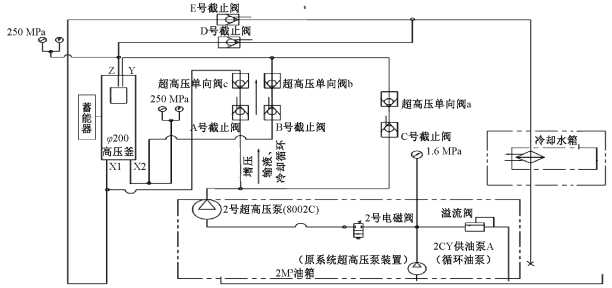


图 2 液压系统工作原理图

Fig. 2 Working principle diagram of hydraulic system

(5)温度控制系统:主要通过上位机给定设定值,由 PLC 及温度控制仪表内建算法通过电阻炉炉温、釜内油温形成两层结构的智能反馈控制策略,整个控制过程可实现完全的自动化操作,且控制速度快,控制精度高,系统鲁棒性强等诸多优点。内层反馈采用仪表自带的智能控制策略对炉温进行精确控制,外层利用先进的广义预测控制算法对釜内油温进行闭环控制,从而达到对高温高压釜温度控制的精度要求。

3 测试方法

高温高压釜体内径为 203 ± 0.5 mm, 内长为 $2\,000 \pm 1$ mm, 壁厚为 97.5 ± 0.1 mm, 最高试验压力 100 MPa, 恒压时控制精度 ± 1 MPa, 最高试验压差 100 MPa, 恒压时控制精度 ± 1 MPa, 能够承受 15gTNT 当量的爆炸冲击, 两套压力系统能够提供稳定压差, 并加装了蓄能器, 测试压力式起爆装置前对高温高压釜进行了系统测试, 包括加温、加压及发火试验。结果如表 2、图 3、图 4 所示, 温度波动范围 $299.5 \sim 300.8$ °C、压力波动范围 $99.53 \sim 100.85$ MPa, 同时加压时最大压差波动范围为 0.86 MPa, 实验结果符合预计技术指标, 能够满足相关标准检验要求, 可以开展压力式起爆装置检验。

表 2 高温高压釜体 26h 测试数据表
Table 2 Test data of high temperature and high pressure kettle

温度/°C	压力/MPa	温度/°C	压力/MPa
299.5	100.85	300.1	99.81
299.9	100.79	299.7	99.53
300.1	100.80	300.0	100.17
300.5	100.75	300.5	100.02
300.7	100.44	299.8	100.51
300.8	100.29	300.1	99.96
300.5	100.20	300.5	100.43

注: 温度波动范围: $299.5 \sim 300.8$ °C; 压力波动范围: $99.53 \sim 100.85$ MPa。

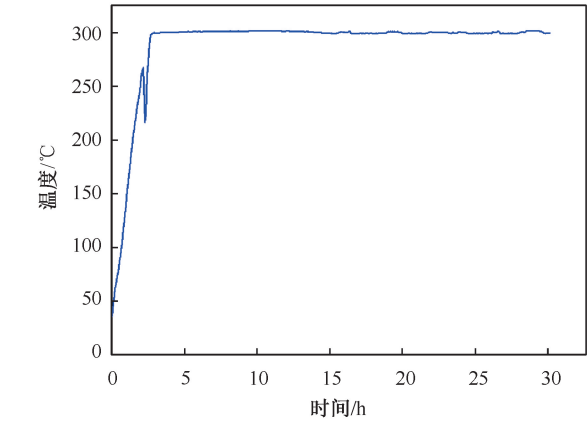


图 3 26 h 保温试验曲线
Fig. 3 26-hour insulation test curve

检验压力式起爆装置相应的检验标准流程为:

- (1) 压力式起爆装置外观检验应符合: 外观应清洁, 无锈蚀;
- (2) 压力式起爆装置尺寸应符合: 外径最小允许偏差为 ± 1 mm; 长度最大允许偏差为 ± 2 mm;
- (3) 压力式起爆装置耐温耐压性能应符合: 起爆装置在规定的温度、压力条件下, 保压 30 min, 不应泄露, 剪切销不应被剪断;

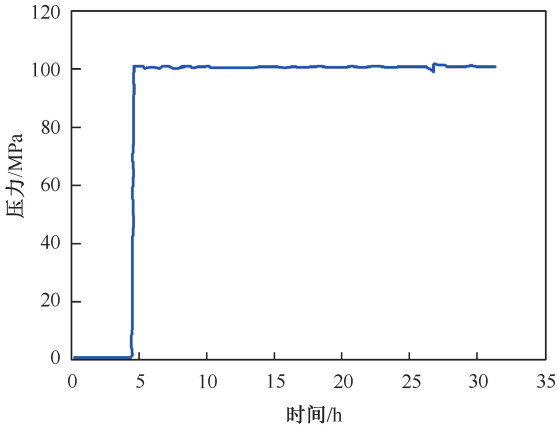


图 4 26 h 保压试验曲线
Fig. 4 26-hour pressure maintaining test curve

- (4) 压力式起爆装置耐高温性能应符合: 将起爆装置放入高温高压釜体设备中, 施加产品规定的额定压力值及 48 h 温度值, 保温保压 30 min;
- (5) 压力式起爆装置不发火性能及发火输出性能应符合产品性能要求。

4 测试结果

检验压力式起爆装置不发火性能及发火输出性能时, 将压力式起爆装置先装入高温高压釜体中, 并将与其内部小釜体固定, 同时将大釜体上端盖的压力接头固定, 安装好防护装置, 启动高温高压釜体工控机, 进入运行主界面, 设置温度和压力, 点击开始按钮, 控温控压程序自动运行, 大釜体和小釜体开始同时升压, 如图 5 所示, 当大釜体和小釜体达到额定压力后, 根据压力式起爆装置性能要求, 可以单独对大釜体和小釜体进行提升压力或者降低压力, 用以产生两釜内的压力差值, 当设备压力等参数达到检验规定的时间和压力后, 进行压力式起爆装置不发火性能试验, 将起爆装置装配 1/2 最大压力所对应数量的剪切销放入所示的设备中, 在规定的温度条件下, 施加产品 1/2 最大压力所对应数量的剪切销的不发火压力, 该压力由单剪切销不发火压力值计算得到, 检查剪切销切断情况, 记录试验结果。如压力式起爆装置满足不发火性能试验要求, 根据试验性能参数, 将起爆装置装配 1/2 最大压力所对应数量的剪切销与传爆管连接后放入设备中, 在规定的温度条件下, 施加产品 1/2 最大压力所对应数量的剪切销发火压力, 该压力由单剪切销发火压力值计算得到, 加压到规定的压力进行发火试验, 利用声音传感器和压力传感器对爆破信号进行采集, 检查传爆管爆轰情况。3 套压力式起

爆装置,试验耐温温度 200 ℃,耐温时间 100 h,经过测试,不发火性能和发火及输出性能测试均为合格,发火压力值分别为 77.42 MPa、77.51 MPa 和 78.01 MPa,符合相关标准要求,高温高压釜性能稳定,能够满足油气井用压力起爆装置检验的要求,图 6、表 3 为 3 种压力式起爆装置实验测试数据。

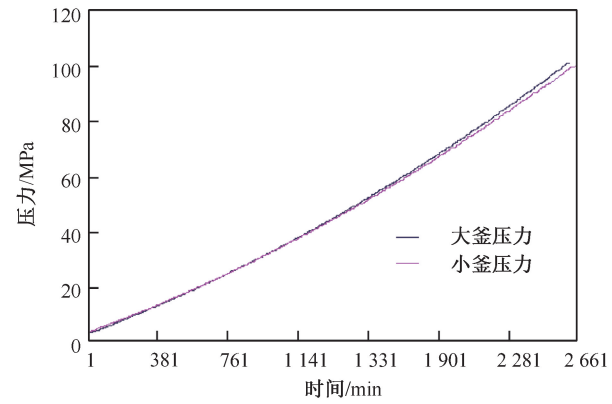


图 5 高温高压釜大、小釜同时升压试验曲线
Fig. 5 Test curve of simultaneous pressure rise of large and small autoclaves

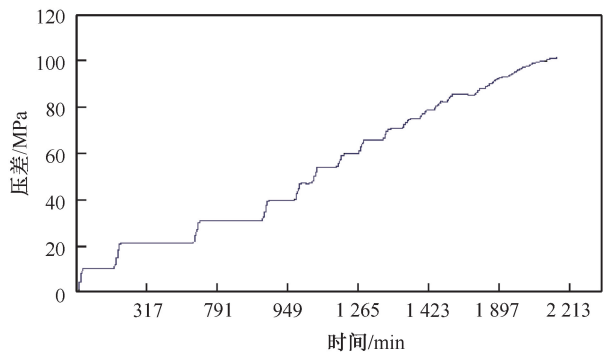


图 6 高温高压釜大、小釜泄压试验曲线
Fig. 6 Pressure relief test curve of large and small autoclaves

表 3 压力式起爆装置实验测试数据表

Table 3 Test data of pressure-type initiating device

序号	耐温温度/℃	耐温时间/h	不发火性能	发火性能	发火压力/MPa
1	200	100	合格	合格	77.42
2	200	100	合格	合格	77.51
3	200	100	合格	合格	78.01

5 结论

(1) 油气井用压力式起爆装置测试系统适用于压力式起爆装置的耐高温性能、耐温耐压性能、不发火性能和发火及输出性能测试。釜体试验温度最高可达 300 ℃,恒温时控制精度±2 ℃;试验压力最高可达 100 MPa,恒压时控制精度±1 MPa;最高试

验压差 100 MPa;恒温恒压时间 26 h;满足压力式起爆装置依据标准的检验要求,为油气井用压力起爆装置生产厂家提高产品质量和提升产品性能提供数据支持,促进射孔器材行业整体质量水平的提高。

(2) 油气井用压力式起爆装置测试系统设计属于国内首创,其先进独特的液压系统与控制系统相结合的设计理念,既保证了系统能够完全达到 SY/T 6791-2010《油气井油管输送射孔起爆装置通用技术条件及检测方法》精度要求,又保证了整套系统运行安全稳定,该套高温高压釜体系统的建成,提高油气井用射孔器材的检验能力,能够科学公正评价油气井用压力式起爆装置的整体性能和质量。

(3) 油气井用压力式起爆装置测试装置的研制,能为油气田勘探开发用户优选油气井用压力式起爆装置提供有效的数据参考,保证油气田勘探开发的施工质量,降低射孔施工安全风险,为油气田勘探开发高质量施工提供了技术支撑。

致谢:感谢大庆油田采油工程研究院《油气井用起爆装置高温检测装置研究》项目组,感谢石油工业油气田射孔器材质量监督检验中心相关技术人员的大力支持。

参考文献

[1] 陆学斌. 全通径压力起爆器的研制与应用[J]. 工程爆破, 2009, 15(4): 78-81.
LU Xuebin. Development and application of full bore pressure detonator [J]. Engineering Blasting, 2009, 15 (4): 78-81.

[2] 唐凯, 王海东, 彭建新, 等. 8000m 超高温超高压超深井射孔配套技术[J]. 钻采工艺, 2018, 41(2): 57-60.
TANG Kai, WANG Haidong, PENG Jianxin, et al. Perforating technology for 8000m ultra high temperature, ultra high pressure and ultra deep well [J]. Drilling & Production Technology, 2018, 41 (2): 57-60.

[3] 孙建兵, 薛敬利, 刘宝信. YB1-1 型压力起爆装置在射孔工艺中的进一步应用[J]. 油气井测试, 1997, 6(4): 47-50.
SUN Jianbing, XUE Jingli, LIU Baoxin. Further application of YB1-1 type detonator in perforating technology [J]. Well Testing, 1997, 6 (4): 47-50.

[4] 杜海鹏, 张继海, 杨建明. 二连油田水平井射孔技术研究与应用[J]. 油气井测试, 2013, 22(4): 58-59.
DU Haipeng, ZHANG Jihai, YANG Jianming. Research and application of horizontal well perforation technology in Erlian Oilfield [J]. Well Testing, 2013, 22 (4): 58-59.

[5] 张福祥, 郭廷亮, 杨向同, 等. 库车“三超”井射孔工艺关键因素控制分析[J]. 石油管材与仪器, 2015, 1(2): 41-44.
ZHANG Fuxiang, GUO Tingliang, YANG Xiangtong, et al. Analysis of the key factor influencing on perforating

- technique in ultra high temperature&pressure&deep well in Kuqa foreland [J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2015,1 (2): 41-44.
- [6] 徐培刚,陆应辉,聂华富,等.连续油管传输射孔异常分析及对策[J].石油矿场机械,2016,45(9):56-61.
XU Peigang, LU Yinghui, NIE Huaifu, et al. Analysis and solution for anomaly during coiled tubing conveying perforation [J]. Oil Field Equipment, 2016,45 (9): 56-61.
- [7] 王海东,唐凯,徐培刚,等.连续油管多级射孔技术在水平井A井的应用[J].石油矿场机械,2016,45(8):95-98.
WANG Haidong, TANG Kai, XU Peigang, et al. Application and technology of coiled tubing cluster perforation A horizontal well [J]. Oil Field Equipment, 2016,45 (8): 95-98.
- [8] 陆应辉,程启文,徐培刚,等.连续油管隔板延时簇射孔技术的现场应用[J].油气井测试,2017,26(2):60-63.
LU Yinghui, CHENG Qiwen, XU Peigang, et al. Field application of separating and delaying clustering perforation conveyed by coiled tubing [J]. Well Testing, 2017, 26 (2): 60-63.
- [9] 何斌.泌359井射孔—测试联作意外射孔原因分析[J].中国石油和化工标准与质量,2013,34(3):61.
HE Bin. Cause analysis of accidental perforation in perforation test combination of well Bi 359 [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2013,34 (3): 61.
- [10] 张凤武.射孔新工艺新方法及应用[J].科技风,2016 (18):87.
ZHANG Fengwu. New technology and method of perforation and its application [J]. KEJIFENG, 2016 (18):87.
- [11] 乔亚波.射孔用压力起爆装置起爆精度分析[J].中国设备工程,2019, (15):120-121.
QIAO Yabo. Analysis of initiation accuracy of pressure initiation device for perforation [J]. China Plant Engineering, 2019, (15): 120-121.
- [12] 贺红民,吴少威,王志兴,等.水平井射孔技术[J].石油仪器,2010,24(6):29-31.
HE Hongmin, WU Shaowei, WANG Zhixing, et al. Technology of the horizontal well perforating [J]. Petroleum Instruments, 2010,24 (6): 29-31.
- [13] 张维山,欧阳飞,隋朝明,等.液压延时射孔起爆装置的研制与应用[J].测井技术,2016,40(6):766-768.
ZHANG Weishan, OUYANG Fei, SUI Chaoming, et al. Development and application of hydraulic delay firing head [J]. Well Logging Technology, 2016,40 (6): 766-768.
- [14] 马金良,刘泽宇,李春宁,等.一趟管柱分层射孔与水力泵排液联作技术[J].油气井测试,2018,27(2):22-26.
MA Jinliang, LIU Zeyu, LI Chunling, et al. Integration of layered perforation and flowback by hydraulic pump in one trip [J]. Well Testing, 2018,27 (2): 22-26.
- [15] 王芝尧,刘志英,王瑀,等.一趟管柱实现分层射孔和试油联作的思考[J].测井技术,2014,38(3):370-374.
WANG Zhiyao, LIU Zhiying, WANG Yu, et al. Realizing combination technology of layered perforating and testing by a trip string [J]. Well Logging Technology, 2014,38 (3): 370-374.
- [16] 王秀芝,邓智杰.油气井用起爆器材的发展[J].火工品,1998(4):45-49.
WANG Xiuzhi, DENG Zhijie. The development of initiating explosive material in oil and gas well [J]. Initiations & Pyrotechnics, 1998(4):45-49.
- [17] 赵海文,林成财,王峰,等.油气井射孔安全起爆技术的研究[J].成都电子机械高等专科学校学报,2012,15 (1):10-13.
ZHAO Haiwen, LIN Chengcai, WANG Feng, et al. Research on safety perforation initiating technique for oil-gas well [J]. Journal of Chengdu Electromechanical College, 2012,15 (1): 10-13.
- [18] 王耀忠.油管输送射孔撞击式安全电起爆系统的研制[J].测井技术,2007,31(1):89-90.
WANG Yaozhong. A safe impact electrical detonating system of tubing conveyed perforator [J]. Well Logging Technology, 2007,31(1): 89-90.
- [19] 王成振.油管输送射孔多级起爆技术分析[J].中国石油和化工标准与质量,2013,33(15):84.
WANG Chengzhen. Analysis of multistage initiation technology for tubing conveyed perforation [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2013,33(15):84.
- [20] 王峰,马涛,王喜,等.油管传输射孔用压差起爆装置的研制与测试[J].化工管理,2018(1):148-149.
WANG Feng, MA Tao, WANG Xi, et al. Development and test of pressure difference initiation device for tubing transmission perforation [J]. Chemical Management, 2018 (1):148-149.
- [21] 陈奂,王海东,欧跃强.油管传输多级投棒起爆技术及应用[J].新疆石油科技,2013,23(2):48-50.
CHEN Huan, WANG Haidong, OU Yueqiang. Technology and application of multi-stage rod casting initiation with tubing transmission [J]. Xinjiang Petroleum Science and Technology, 2013,23 (2): 48-50.
- [22] 刘玉芝.油气井射孔井壁取心技术手册[M].第一版.北京:石油工业出版社,200:150-156.

编辑 吴志力

第一作者简介:李冰,男,1982年出生,高级工程师,硕士,2008年毕业于安徽理工大学应用化学专业弹药工程与爆炸技术方向,主要从事民用火工品和石油射孔器材检测及管理、石油地质巡查监督及管理工作。电话:0459-5950515,18004598190,Email:libing2@petrochina.com.cn。通信地址:黑龙江省大庆市让胡路区西柳街1号采油工程研究院,邮政编码:163453。