

# KL130-105 型压裂井口试压技术

马金良<sup>1</sup>, 孙立波<sup>1</sup>, 徐文光<sup>2</sup>, 刘海超<sup>1</sup>, 张兆刚<sup>1</sup>, 刘泽宇<sup>1</sup>

- 1. 中国石油集团渤海钻探工程有限公司井下技术服务分公司 天津 300283
- 2. 中国石油集团渤海钻探工程有限公司华北油田工程事业部 河北任丘 062552

通讯作者: Email: mjl2000\_ren@163.com

项目支持: 中国石油集团渤海钻探工程公司井下技术服务分公司技术研究项目“KL130-105 压裂井口试压技术研究”(2020JXJF-16)

引用: 马金良, 孙立波, 徐文光, 等. KL130-105 型压裂井口试压技术[J]. 油气井测试, 2022, 31(1): 52-56.

Cite: MA Jinliang, SUN Libo, XU Wenguang, et al. Pressure test technology of KL130-105 fracturing wellhead [J]. Well Testing, 2022, 31(1): 52-56.

**摘要** 为解决 KL130-105 型压裂井口试压检验密封性的安全生产难题, 利用浮动活塞技术, 研制了 BH-Y341 套管堵塞器, 配套了悬挂密封装置和连接管等工具, 提出试压工艺流程, 形成 KL130-105 型压裂井口试压工艺技术。室内测试试验表明, BH-Y341 套管堵塞器可承受 90 MPa 压力, 完全满足现场施工需求。现场先后在 NG36-20 等五口井进一步试验检验, 满足 70 MPa 的试压需求。通过密封性检测能够及时发现漏点, 避免压裂过程中刺漏情况的出现, 杜绝了由此带来的严重井控风险和环境污染风险, 具有广阔的应用前景。

**关键词** 压裂井口; 试压; 工艺流程; 套管堵塞器; 悬挂密封装置; 漏点检测; 井控技术

**中图分类号:** TE353      **文献标识码:** B      **DOI:** 10.19680/j.cnki.1004-4388.2022.01.009

## Pressure test technology of KL130-105 fracturing wellhead

MA Jinliang<sup>1</sup>, SUN Libo<sup>1</sup>, XU Wenguang<sup>2</sup>, LIU Haichao<sup>1</sup>, ZHANG Zhaogang<sup>1</sup>, LIU Zeyu<sup>1</sup>

- 1. Downhole Technology Service Company, CNPC Bohai Drilling Engineering Co., Ltd., Tianjin 300283, China
- 2. Huabei Oilfield Engineering Division, CNPC Bohai Drilling Engineering Co., Ltd., Renqiu, Hebei 062552, China

**Abstract:** In order to solve the safety production problem of KL130-105 fractured wellhead pressure test and sealing test, BH-Y341 casing plug was developed by using floating piston technology, which was equipped with hanging sealing device and connecting pipe and other tools. The pressure test process was put forward and the pressure test technology of KL130-105 fractured wellhead was formed. Laboratory tests show that the BH-Y341 casing plug can withstand 90 MPa pressure, which fully meets the requirements of field construction. Further tests have been carried out in five wells, including Well NG36-20, to meet the pressure test requirements of 70 MPa. Leakage points can be found in time through sealing test, avoiding the occurrence of leakage in fracturing process and eliminating the resulting serious well control risks and environmental pollution risks, which has broad application prospects.

**Keywords:** fracturing wellhead; pressure testing; process flow; casing plug; suspension sealing device; leak detection; well control technology device

SY/T6690《井下作业井控技术规程》规定, 井控装置现场安装后, 应进行试压检测密封性<sup>[1]</sup>。在诸多的检测方法中<sup>[2-4]</sup>, 一般采用试压装置对防喷器和井口采油树的密封性进行检验<sup>[5-8]</sup>。白文剑等<sup>[9]</sup>利用悬挂接头将套管堵塞器悬挂在油管头四通内的方式实现了对防喷器全封及半封闸板的试压, 利用与采油(气)树顶部法兰丝扣相连的密封接头悬挂油管堵塞器, 实现对采油(气)树试压检验密封性。郭彪<sup>[10]</sup>通过分析修井作业过程中传统井口试压装置的不足, 研发了新型井口试压装置—专用油

管提升装置, 实现了液控管线与油管回路互不干扰, 保证了井控安全。赵金龙<sup>[11]</sup>提出油管输送射孔井下封井技术, 在射孔枪起爆后, 采用上提下放锚定和上提拉断销钉丢手方式, 封隔油层, 有效预防井喷事故。栾家翠等<sup>[12]</sup>借助现代计算机技术分析井控设备自动化试压的检测系统, 讲解了移动式试压检测系统在实际应用中遇到的问题并提出了可行性的解决方案。王铁峰等<sup>[13]</sup>结合小型手动的轻便试压泵研发了专用的防喷器试压工具, 使防喷器试压检验完成时间明显缩短, 减小了操作员工的劳动

强度,节约了工作运行成本。当 35 MPa 及以上压力级别的油管头四通内有油管悬挂器时,也可以通过向采油(气)树底法兰上的试压孔注液压油的方式对采油(气)树与油管悬挂器和油管头四通的结合部位进行密封性检验。

KL130-105 型压裂井口作为井控装置中的一种,安装后也应按标准规定进行密封性检验,但其具有一定的特殊性。采用 KL130-105 型压裂井口进行套管压裂,井内无管柱,只有一道钢圈密封压裂井口与油管头四通的连接部位,而且油管悬挂器的直径远远大于压裂井口主通径。因此,不能用油管悬挂器悬挂堵塞器的方式对 KL130-105 型压裂井口试压。另外,常用的套管堵塞器大多靠自封皮碗的过盈配合产生初密封,使用后起出井筒经过油管头四通时皮碗会扩张到原来尺寸,再经过主通径较小的压裂井口时难免会发生挂卡现象。因此,不宜采用皮碗式堵塞器对 KL130-105 型压裂井口与油管头四通连接处进行密封性检验。当然,若前期试油工艺中已考虑大规模压裂<sup>[14-15]</sup>,则首选经济、安全的井口与井筒整体试压工艺<sup>[16-17]</sup>;若打开油气层后再换装 KL130-105 井口进行大规模压裂,就需要用到本文所述压裂井口试压技术对压裂井口进行密封性检测。

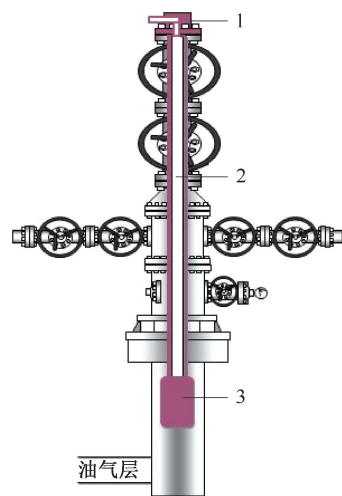
为此,本研究利用浮动活塞技术研制了 BH-Y341 套管堵塞器,配套了悬挂密封装置和连接管等工具,形成了 KL130-105 型压裂井口试压工艺技术,并通过了室内测试与现场试验,取得了良好的效果,有效解决了油气层打开后对压裂井口现场试压检验密封性的安全生产难题。

## 1 技术思路

要实现对 KL130-105 型压裂井口试压,需要解决以下技术问题:(1)如何悬挂套管堵塞器并且密封井口;(2)如何使套管堵塞器和悬挂装置之间的连接管承受较小的拉力;(3)如何使堵塞器密封胶筒能够承受 70~90 MPa 的高压差剪切。

分析研究认为:(1)密封 KL130-105 压裂井口最好使用与其配套的 105 MPa 法兰盘,然后在法兰盘中心轴线上钻孔,孔壁上设置密封件,与穿过该孔的悬挂轴形成密封。悬挂轴通过台阶支撑在法兰盘上方。悬挂轴下部设置锁紧环,可防止上提工具串时,法兰盘落下伤人。法兰盘与 KL130-105 压裂井口之间使用与“钢圈”尺寸一致的“橡

胶垫圈”连接,即能保证密封性,又能减轻工人紧固井口连接螺栓时的劳动强度。(2)试压时,利用油套环空压力使套管堵塞器继续处于坐封状态,可大大减小受力面积,从而减小小螺纹和连接管承受的拉力。(3)胶筒具有厚度大,抗剪切能力比皮碗强的优势,更适合作为高压差下的承压部件。(4)胶筒的密封性与坐封压力大小有关,可以利用试压时的高压进一步增强胶筒的坐封压力。据此分析,形成了如图 1 所示的试压工艺管柱结构示意图。



1—悬挂密封装置;2—连接管;3—套管堵塞器

图 1 试压管柱结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of pressure test string

## 2 工艺流程及关键工具

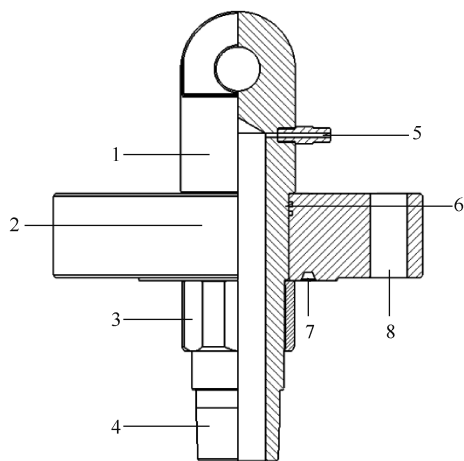
要实现对 KL130-105 型压裂井口与油管头四通连接处试压检验,需要先用悬挂装置将堵塞器下入油层套管内,然后密封压裂井口与悬挂装置连接处,最后坐封堵塞器,使堵塞器以上的空间形成一个密闭的压力体系,从油管头四通闸门处打压实现对 KL130-105 压裂井口与油管头四通连接处密封性检验。

KL130-105 压裂井口试压工艺流程:安装好压裂井口→从清蜡阀门下入堵塞器→用螺栓连接悬挂法兰与压裂井口→打压坐封堵塞器→从套管阀门打压至 35 MPa 后泄掉坐封压力→观察堵塞器密封性→从套管阀门打压至设计压力→观察各连接部位密封性→输出试压曲线→环空泄压解封→卸开悬挂法兰与压裂井口连接的螺栓→起出试压工具→试压结束。

该试压技术涉及的关键工具包括悬挂密封装置、套管堵塞器和连接管。

## 2.1 悬挂密封装置

悬挂密封装置的结构如图2所示。通过12条专用螺栓与KL130-105压裂井口连接,其作用是悬挂试压工具串,密封悬挂法兰与KL130-105压裂井口的连接处,密封悬挂法兰与悬挂轴,为堵塞器坐封与泄压提供压力传递通道。



1-悬挂轴;2-105 MPa 悬挂法兰;3-锁环;4-下接头;  
5-打压接头;6-密封圈;7-钢圈槽;8-螺栓孔

图2 悬挂密封装置结构示意图

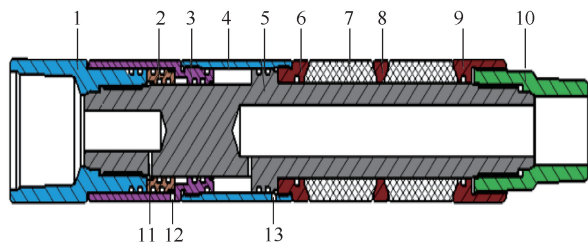
Fig. 2 Schematic diagram of suspension sealing device

## 2.2 BH-Y341 套管堵塞器

BH-Y341 套管堵塞器是 KL130-105 压裂井口试压技术最核心的工具<sup>[18]</sup>。该工具的性能决定着试压检验密封性工作能否顺利完成。

### 2.2.1 基本结构

BH-Y341 套管堵塞器主要由上下接头,浮动活塞,液压缸,连接套,中心管,上下规环,胶筒,隔环,隔环等部件组成,如图3所示。



1-上接头;2-浮动活塞;3-液压缸;4-连接套;5-中心管;  
6-上规环;7-胶筒;8-隔环;9-下规环;10-下接头;11-上传压孔;12-液压缸传压孔;13-下传压孔

图3 套管堵塞器结构示意图

Fig. 3 Schematic diagram of casing plug

### 2.2.2 工作原理

向 BH-Y341 套管堵塞器上接头内泵入 15~18 MPa 的坐封压力,液压通过上传压孔推动浮动活塞和液压缸一起下行,压缩胶筒,使堵塞器坐封。保持油管内的坐封压力,向堵塞器与油层套管间的环空打压至 30~35 MPa 后停泵,泄掉油管内的坐封压力,利用环空压力继续使堵塞器处于坐封状态。此时,浮动活塞上移至上接头下部,密封住芯轴上部的上传压孔。由于下传压孔的存在,连接套与上规环变成了第二级液压缸。两级液压缸同时对胶筒施加坐封力,增大了胶筒与套管壁的接触应力。继续向堵塞器与油层套管间的环空打压至设计要求压力,完成对 KL130-105 压裂井口与油管头四通连接部位的密封性检验。密封性检验完成后,卸掉环空压力,堵塞器自动解封。

### 2.2.3 主要技术参数

适用不同套管内径的 BH-Y341 套管堵塞器技术参数见表1。

表1 套管堵塞器技术参数

Table 1 Technical parameters of casing plug

堵塞器型号	外径/mm	长度/mm	额定工作压力/MPa	适用套管内径/mm	顶部接头螺纹
BH-Y341-114	106	705	90	114.30~115.52	88.9 mmTGB
BH-Y341-118	110	705	90	118.62	88.9 mmTGB
BH-Y341-121	114	705	70	121.36~124.26	88.9 mmUPTGB

### 2.2.4 主要特点

BH-Y341 套管堵塞器具有如下几个主要特点:

(1)油套不连通,打高压时工具上接头承受的拉力小,施工更安全;

(2)利用浮动活塞可使上传压孔关闭,液压缸壁不用承受较大的压差,不存在液压缸被挤毁的风险;

(3)通过传压孔增加一级液压缸,利用环空压力压缩胶筒,增大胶筒与套管壁的接触应力,从而

增强胶筒的密封性。

## 2.3 连接管

经计算,在内径 118.62 mm 套管内试压 90 MPa (油管内的坐封压力泄至 0) 时,工具上部连接管承受的拉力 435 kN。 $\phi 88.9$  mm P110 平式油管(壁厚 6.45 mm)抗外挤强度 93.3 MPa,接头最小连接强度 971 kN,能够满足连接管的强度要求。为保证连接管承受 90 MPa 外挤压力时有足够的安全系数,采用壁厚 14.5 mm 的  $\phi 88.9$  mmP110 内加厚平式油

管短节作为连接管。

3 试验检验

样机加工好后,先进行了室内试验检验,检验结果达到设计要求。室内检验合格后,又进行了 5 口井的现场试验检验,试验结果也都达到了设计要求。

3.1 室内试验

为了开展室内测试试验,加工了一套适用于  $\phi 118.62\text{ mm}$  套管内径的套管堵塞器样机,并进行了室内试验。试验装置如图 4 所示。

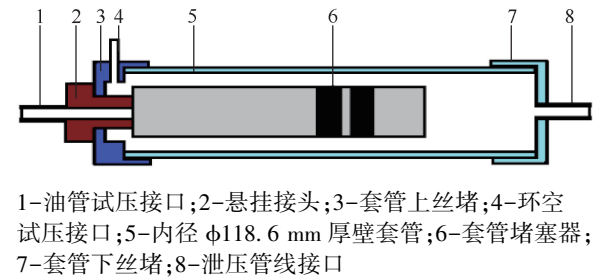


图 4 室内试验装置结构示意图  
Fig. 4 Schematic diagram of indoor test device

从油管试压接口 1 接 1#试压泵,从环空试压接口 4 接 2#试压泵。先用 1#试压泵打压至 15 MPa,观察 10 min 无压降。保持 1#试压泵压力。启动 2#试压泵打压至 35 MPa,观察 10 min,2#试压泵无压降。泄掉 1#试压泵压力,观察 10 min,2#试压泵稳压在 32 MPa。继续启动 2#试压泵打压至 90 MPa,观察 10 min,2#试压泵压降 0.3 MPa 密封部位无渗漏,泄压管线接口 8 无液体返出,室内试验成功。从 2#试压泵专用泄压口泄压至 0。室内试验显示,该试压装置可承受 90 MPa 的压力,完全满足现场施工的需求。

3.2 现场试验

室内试验成功后,该试压装置先后在 NG36-20 井、Y110H 井、CH105X1 井、CH106X1 井和 TD9X2 井进行了现场试验,结果见表 2。

由表 2 可见,在 Y110H 和 CH105X1 两口井的现场试压过程中,第一次试压均发现渗漏的情况。所以,KL130-105 压裂井口 1#总闸门以下部分承受高压时存在渗漏的安全隐患,必须在施工前进行密封性检测,以确保井控安全。

该试压装置的现场试验表明,试压装置运行平稳可靠,满足 70 MPa 的试压需求,能够通过密封性检测及时发现漏点,避免压裂过程中刺漏情况的出现,杜绝了由此带来的严重井控风险和环境污染风

险,具有广阔的应用前景。

表 2 现场试验结果统计表  
Table 2 Statistical table of field tests

井号	套管内径/ mm	试压压力/ MPa	试压结果
NG36-20	121.36	70	10 min 压降 0.2 MPa, 无渗漏, 一次试压合格
Y110H	114.30	70	第一次试压, 10 min 压降 2 MPa, 3 处顶丝压帽滴水。紧固后第二次试压, 10 min 压降 0.4 MPa, 无渗漏, 合格
CH105X1	121.36	70	第一次试压, 压裂井口底法兰与 1#总闸门连接处渗漏。紧固后第二次试压, 10 min 压降 0.3 MPa, 无渗漏, 合格
CH106X1	118.62	70	10 min 压降 0.4 MPa, 无渗漏, 一次试压合格
TD9X2	118.62	70	10 min 压降 0.4 MPa, 无渗漏, 一次试压合格

4 结论

(1)研制的 BH-Y341 套管堵塞器首次采用浮动活塞技术,利用环空压力增大堵塞器胶筒的密封能力,耐压差达到 90 MPa。

(2)研制的 KL130-105 型压裂井口试压技术,有效解决了油气层打开后对压裂井口现场试压检验密封性的安全生产难题。

(3)现场试验表明,该试压装置运行平稳可靠,满足施工现场的试压需求,能够通过密封性检测及时发现漏点,降低了井控风险和环境污染风险,具有广阔的应用前景。

(4)建议该试压装置每次应用完毕都要进行一次彻底的检查与保养,发现钢体出现裂纹或丝扣出现明显损伤,都应进行判废处理。

致谢:感谢渤海钻探井下技术服务公司张世林总工程师为该论文提供保密审查把关。

参考文献

[1] 刘鹏飞,王鹏飞,赵鑫,等. 井下作业井控技术规程:SY/T 6690-2008 [P]. 2016-06-16.

[2] 景忠峰,刘永春,韦明,等. 井控器材井口快速试压工具[J]. 石油机械,2013,41(5):97-99.

JING Zhongfeng, LIU Yongchun, WEI Ming, et al. Rapid wellhead pressure test tool for well control equipment [J]. China Petroleum Machinery, 2013,41(5):97-99.

[3] 王立平. LH-70 型轻便压裂井口技术改进及现场应用[J]. 油气井测试,2004,13(2):67-68,70.

WANG Liping. Development of LH-70 model handy fracture



- well head and its application [J]. Well Testing, 2004, 13(2): 67-68, 70.
- [4] 何斌, 朱默山, 李峰昌, 等. 非常规压裂试油井口配套技术应用研究[J]. 油气井测试, 2015, 24(2): 59-60, 62. HE Bin, ZHU Moshan, LI Fengchang, et al. Application of well head matching technology for unconventional fracturing oil test [J]. Well Testing, 2015, 24(2): 50-60, 62.
- [5] 巴鲁军. 防喷器试压快速增压装置的研制及应用[J]. 石油机械, 2016, 44(1): 45-50. BA Lujun. A rapid supercharging device for blowout preventer pressure testing [J]. China Petroleum Machinery, 2016, 44(1): 45-50.
- [6] 林春来. 压裂施工现场准备工序详解[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2020, 40(13): 153-154. LIN Chunlai. Detailed explanation of fracturing site preparation procedures [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2020, 40(13): 153-154.
- [7] 孙增生, 范玉光, 姚利祥, 等. 不同压力源在封井器试压中风险对比分析[J]. 石油化工安全环保技术, 2021, 37(2): 39-42. SUN Zengsheng, FAN Yuguang, YAO Lixiang, et al. Comparative analysis on the risk of different pressure sources in BOP pressure test [J]. Petrochemical Safety and Environmental Protection Technology, 2021, 37(2): 39-42.
- [8] 李哲, 马金良, 李金凤, 等. 井口采油树现场试压工具简介及工艺研究[J]. 油气井测试, 2014, 23(4): 66-68. LI Zhe, MA Jinliang, LI Jinfeng, et al. Introduction of pressure test tool for christmas tree at wellhead and its process research [J]. Well Testing, 2014, 23(4): 66-68.
- [9] 白文剑, 鹿成亮, 高秀君, 等. 全井口密封性能检验装置应用研究[J]. 油气井测试, 2014, 23(3): 40-45. BAI Wenjian, LU Chengliang, GAO Xiujun, et al. Application and study of seal performance testing device for full wellhead [J]. Well Testing, 2014, 23(3): 40-45.
- [10] 郭彪. 渤海油田修井新型井口试压装置研究及探索[J]. 化工管理, 2021(10): 148-150. GUO Biao. Application and prospect of new type wellhead pressure test device for workover in Bohai Oilfield [J]. Chemical Enterprise Management, 2021(10): 148-150.
- [11] 赵金龙. 油管输送射孔井下封井技术研究[J]. 油气井测试, 2018, 27(3): 46-51. ZHAO Jinlong. Research on well sealing technology of tubing conveyed perforating [J]. Well Testing, 2018, 27(3): 46-51.
- [12] 栾家翠, 吴双, 陈建新, 等. 井控装置自动化试压检测系统实践探讨[J]. 中国设备工程, 2021(13): 173-174. LUAN Jiacy, WU Shuang, CHEN Jianxin, et al. Application analysis of automatic pressure test system for well control equipment [J]. China Plant Engineering, 2021(13): 173-174.
- [13] 王铁峰, 陈二龙, 甄群波, 等. 防喷器专用试压工具在现场的应用[J]. 石化技术, 2020, 27(11): 290, 176. WANG Tiefeng, CHEN Erlong, ZHEN Qunbo, et al. Application of special pressure test tool for blowout preventer on site [J]. Petrochemical Industry Technology, 2020, 27(11): 290, 176.
- [14] 韩永亮, 冯强, 杨晓勇, 等. 大规模压裂用 Y344 封隔器及工艺管柱关键技术[J]. 油气井测试, 2019, 28(6): 21-26. HAN Yongliang, FENG Qiang, YANG Xiaoyong, et al. Key technologies of Y344 packer and string technology for large-scale fracturing [J]. Well Testing, 2019, 28(6): 21-26.
- [15] 申立铁. 大规模工厂化压裂管理优化研究[J]. 化学工程与装备, 2017(9): 143-145. SHEN Litie. Study on management optimization of large-scale industrial fracturing [J]. Chemical Engineering & Equipment, 2017(9): 143-145.
- [16] 孙晓迎. 高性能压裂井口设备技术和产业化研究[J]. 科技创新与应用, 2017(9): 142-143. SUN Xiaoying. Research on technology and industrialization of high performance fracturing wellhead equipment [J]. Technology Innovation and Application, 2017(9): 142-143.
- [17] 徐鹏海, 张莎, 杨双宝, 等. 高压裸眼油气井钻采一体化井口大四通装置[J]. 油气井测试, 2018, 27(6): 33-38. XU Penghai, ZHANG Sha, YANG Shuangbao, et al. Large four-way device of drilling and production integrated wellhead for high-pressure openhole oil and gas well [J]. Well Testing, 2018, 27(6): 33-38.
- [18] 熊和贵, 黄世财, 周建平, 等. 套管堵塞阀的研制与应用[J]. 江汉石油职工大学学报, 2015, 28(1): 70-71. XIONG Hegui, HUANG Shicai, ZHOU Jianping, et al. Development and application of casing jamming valve [J]. Journal of Jiangnan Petroleum University of Staff and Workers, 2015, 28(1): 70-71.

编辑 王 军

第一作者简介: 马金良, 男, 1978 年出生, 高级工程师, 2002 年毕业于江汉石油学院石油工程专业, 现从事油气田开发方面的技术服务和相关技术研究工作。电话: 022-25934595, 15302132113; Email: mjl2000\_ren@ 163. com。通信地址: 天津市滨海新区港西大道 640 号井下技术服务分公司, 邮政编码: 300283。