

# 新型大通径压控式弹簧测试阀

金磊

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:jinglei@petrochina.com.cn

项目支持:股份公司科技重大专项“松北深层天然气富集规律、勘探技术与规模增储”子课题“徐家围子深层有效排液配套工艺及产能评价技术研究”(QR/A0/7-13-01)

引用:金磊. 新型大通径压控式弹簧测试阀[J]. 油气井测试, 2020, 29(1): 13-17.

Cite: JIN Lei. A new type of spring testing valve with large diameter and pressure control [J]. Well Testing, 2020, 29(1): 13-17.

**摘要** APR-N 测试阀环空压力稳定性要求高,注氮操作复杂,维护成本高。新型大通径压控式弹簧测试阀利用“弹簧”片组储能方式,通过改变“弹簧”片组数量,调节补偿力,随阀所处井深不同,补偿力可随之调整。当环空井底压力高于补偿力时,传动杆将牵引球阀,实现井下测试阀压控式开关。室内进行千次开关操作实验,球阀能准确归位;40 MPa 压力下稳压 60 min,开关正常。PX4701 井现场环空连接泵车,打压 7~15 MPa 进行两次开井测试,在二开井期间钢丝绳投放  $\phi 35$  mm 配重杆通过测试阀,达到预定目标。该测试阀兼具大通径功能,球阀通径 40 mm 满足多种投放需求,且保养成本低、操作简单,能满足水平井、大斜度井及深层气井的复杂测试需求。

**关键词** 钻柱地层测试; 压控式测试器; APR-N 测试阀; 环空压力; 工作制度; 缆绳作业**中图分类号**: TE357 **文献标识码**: B **DOI**: 10. 19680/j.cnki.1004-4388. 2020. 01.003

## A new type of spring testing valve with large diameter and pressure control

JIN Lei

Test Production Branch of PetroChina Daqing Oilfield, Daqing, Heilongjiang 163412, China

**Abstract:** APR-N testing valve requires high pressure stability in annulus, complicated nitrogen injection operation and high maintenance cost for. This paper introduces a new large diameter and pressure controlled spring test valve. The energy storage mode of “spring” group is adopted to adjust the compensation force by changing the number of “spring” group. The compensation force can be adjusted with the different well depth of the valve. When the bottom hole pressure of annulus is higher than the compensation force, the transmission rod will pull the ball valve to realize the pressure control switch of downhole testing valve. The ball valve can return to its original position accurately in thousands of switching experiments indoor. The switch is normal when the pressure is stabilized for 60 min with the 40 MPa pressure. The annulus of well PX4701 is connected with the pump truck, and the pump truck is pressurized for 7~15 MPa to conduct twice well opening testing. During the second well opening, a weight bar of  $\phi 35$  mm is put on the steel wire rope to pass the testing valve, which achieve the predetermined goal. The test valve has the function of large diameter of 40mm, which can meet the needs of various applications. The maintenance cost is low, the operation is simple. This valve can meet the complex testing needs of horizontal wells, highly deviated wells and deep gas wells.

**Keywords:** drill string testing; pressure controlled tester; APR-N testing valve; annulus pressure; working system; cable operation

地层测试技术经历了半个多世纪,美国、加拿大,以及法国是应用开发地层测试技术较早的国家。70年代,我国提出适应大斜度井的测试工艺技术,引入全通径、压控式开关阀概念<sup>[1]</sup>,即 APR 全通径测试器、PCT 全通径测试器<sup>[2-5]</sup>。由于是全通径,有利于高产井测试,可酸洗、挤注和各种绳索钢丝作业,在工作范围上明显优于 MFE 测试器<sup>[6-10]</sup>。但由于是氮气储压,同时开井时需要在环空内注入恒定压力,保养

及操作上较复杂<sup>[11-12]</sup>。因此,地层测试工具的应用历史经验及国内油田对地层测试工具的需求表明,测试阀具有全通径结构,地面操控过程无需移动管柱,可在直井、大斜度井和水平井等各种境况下使用,满足射孔、酸化和测试的联合作业需求<sup>[13-14]</sup>,是地层测试工具的发展方向,同时并具有简易可靠的保养和操作手段<sup>[15-18]</sup>。因此,研制新型结构的全通径压控测试阀是重要研究攻关方向,可与原有安全阀、取样器、

反循环阀和震击器等工具配合使用,形成一套新型的完整地层测试工具及其配套应用技术。

## 1 结构原理及特点

大通径压控式弹簧测试阀的结构核心在于支撑弹簧和球阀,创新点在于如何让多组支撑弹簧串联后,存贮并传导每组的弹性势能<sup>[19]</sup>。

### 1.1 结构组成

大通径压控式弹簧测试阀主要由全通径测试阀体、组合式支承弹簧组成。阀体与组合式支撑弹簧和各弹簧节之间以螺纹连接,连接处安装“O”型圈及顶紧螺栓,保证工具整体密封,防止螺纹在使用过程中松动。

#### 1.1.1 全通径测试阀体

全通径测试阀体结构主要由壳体,73.025 mm 内、外螺纹,上、下阀座,球阀,动力拉杆,密封圈,进压孔,压力仓,动力芯轴,内通径,顶丝槽,密封槽等部分组成(图 1)。

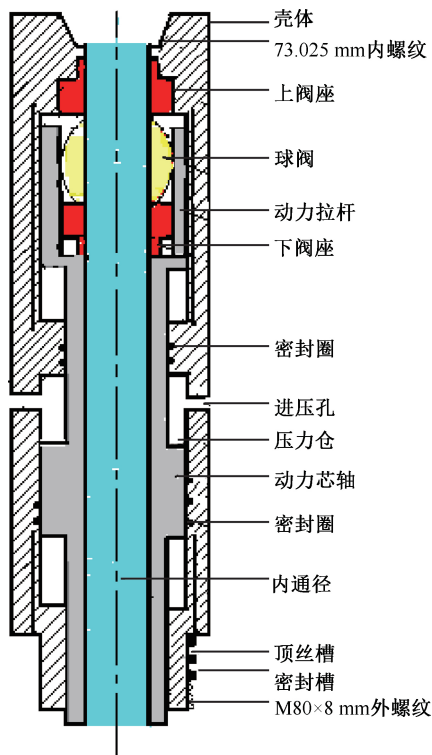


图 1 新型全通径压控测试阀结构示意图

Fig.1 Structural diagram of new large diameter pressure control testing valve

#### 1.1.2 组合式支承弹簧

组合式支承弹簧主要由壳体,M80×8 mm 内、外螺纹,传动芯轴,垫片,碟簧片,内通径,顶丝槽,密封槽等部分组成(图 2)。

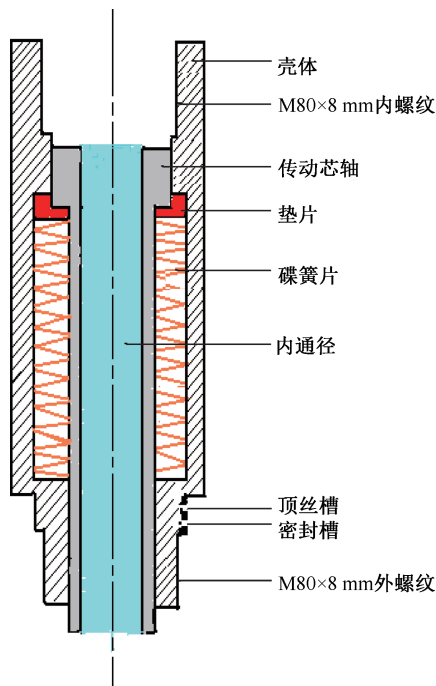


图 2 组合式支承弹簧结构示意图

Fig.2 Structural diagram of combined support spring

### 1.2 技术参数

大通径压控式弹簧测试阀主要参数如下:

适应环境温度: -20~300 ℃;适应井深: 不大于 3 500 m;环境压力: 70 MPa;内、外径: 40 mm, 100 mm;拉伸强度: 911 kN;球阀上下压差: 35 MPa。

### 1.3 工作原理

下井时,球阀处于关闭状态。作业过程中,在井口用水泥车或压力泵,通过环空打压 7~10 MPa。压力推动超越离合器贴合,使动力拉杆移动,动力拉杆驱动操作拉杆使球体旋转 90°,球阀打开。环空泄压后,超越离合器脱离,动力拉杆回到初始位置,锁定机构将操作拉杆锁定,从而实现开井。当关井时,重复上述操作,球体沿着与前面动作相同的方向旋转 90°,球阀关闭,实现关井。

球阀中球体为单向间歇转动,环空打压一次,全通径测试阀“开”或“关”状态相互转换一次,无需保持环空操作压力。

支承弹簧的作用在于保持环空静液柱与阀体驱动机构的压力平衡,防止误操作和保证动力拉杆准确复位。在实际作业时,仅需要根据测试地层的深度和井中液体比重选取支承弹簧的节数,即可实现防止测试阀误动作,在不同深度的地层测试作业时,具有相同的地面操作压力(7~10 MPa),且与地面和井下温度无关。

其原理是:开关测试阀的弹性支撑部件由组合

式支承弹簧串联构成,每节组合式支承弹簧设定有预应力,可支撑井筒内 350 m 清水液柱高度。组合式支承弹簧之间以螺纹连接,每减少一节组合式支承弹簧,适用测试地层深度相应减少 350 m,只要选用相应的节数即可调节到目的深度。测试阀体自身摩擦阻尼取值 3.5 MPa,在实际使用中为保证动力拉杆准确复位,应留有 3.5 MPa 的荷载余量,即一节支承弹簧。例如:当测试阀所需下放深度为 1 700 m 时, $1\,700/350\approx 4.86$ (节),保守应选用 6 节组合式支承弹簧,以防止球阀误动作和保证动力拉杆准确复位(图 3)。

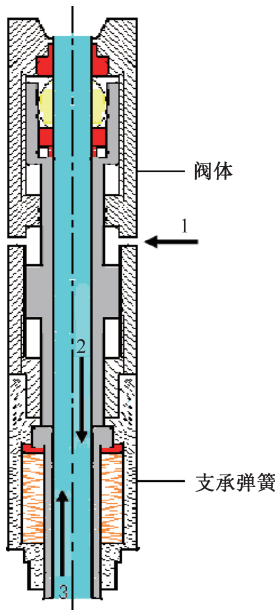


图 3 工作原理示意图

Fig.3 Schematic diagram of working principle

动作时,由箭头 1 方向通过进压孔向压力仓充入压力,推动动力芯轴沿箭头 2 方向下行,带动动力拉杆使球阀转动 90°,支承弹簧被压缩。释放压力时,支承弹簧推动动力芯轴沿箭头 3 方向上行,带动动力拉杆复位。此时离合器脱离,球阀保持原位。工具整体动作结束,等待下一次操作。

2 性能地面试验

工具经过了严格的室内实验,其中包括:阀体开启与关闭动作试验、球阀耐压试验、阀体压差下动作试验。各项性能试验并均达到预期效果。

2.1 阀体开启与关闭动作试验

压控测试阀体与组合式支承弹簧相连接。如图 4 所示,采用柱塞式试压泵通过进压孔向阀体的液压驱动仓加压,观察球阀开始动作时的压力值,

以及球阀动作完成的是否准确到位<sup>[20]</sup>。

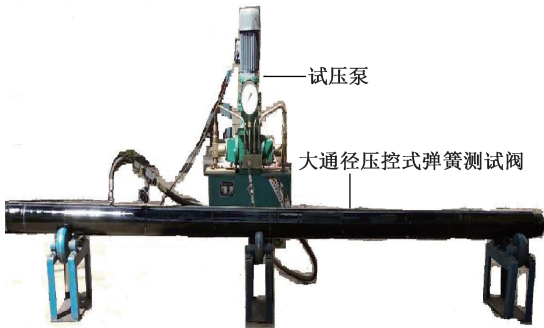


图 4 测试阀动作试验连接图

Fig.4 Testing valve action test connection diagram

实验结果:球阀动作压力值 6.5~7.0 MPa,球阀动作开启与关闭准确到位。连续动作 50 次,球阀开关动作位置未观察到明显变化,累计动作近千次,球阀开、闭动作仍准确到位。操控压力变化曲线如图 5 所示。

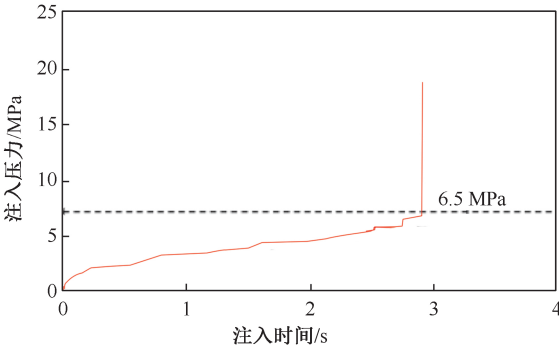


图 5 操控压力曲线

Fig.5 Controlled pressure curve

2.2 球阀耐压试验

压控测试阀体与一节组合式支承弹簧相连接,将组合式支承弹簧下端与进压接头相连。如图 6 所示,球阀置于关闭位置,采用柱塞式试压泵通过接头的进压孔向内通径打压至 40 MPa,维持压力,观察球阀是否有渗漏。

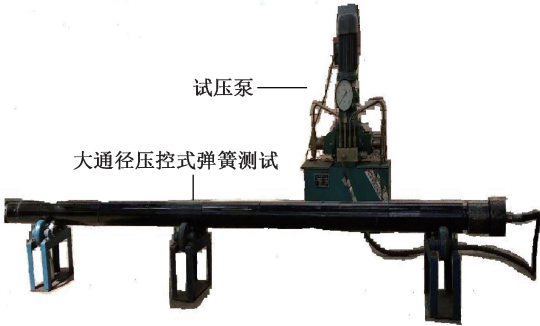


图 6 测试阀压差试验连接图

Fig.6 Differential pressure test connection diagram of testing valve

实验结果:保持内通径腔体压力 40 MPa 稳压 60 min,未观察到有渗漏现象。

### 2.3 阀体压差下动作试验

压控测试阀体与一节组合式支承弹簧相连接,将组合式支承弹簧下端与进压接头相连。球阀置于关闭位置,采用柱塞式试压泵向内通径打压至 40 MPa 并保持压力。向阀体的液压驱动仓加压,观察球阀开始动作时的压力值,以及球阀动作完成的是否准确到位。

实验结果:球阀动作压力最大值 15 MPa,球阀动作开启灵敏、且准确到位。

## 3 现场应用

结合地面试验成果,选取大庆地区 PX4701 井进行现场试验。本井构造位于松辽盆地东南断陷区莺山-双城断陷双城凹陷处,最大井斜  $2.18^{\circ}$ 。试油目的层位为 XX3 号层,井段 1 244.0~1 240.6 m,已试油,日产水  $6.8 \text{ m}^3$ ,由于本层段压力恢复较快,适合测试阀开关状态识别。因此,选取本井进行现场试验。井下试验管柱如图 7 所示。

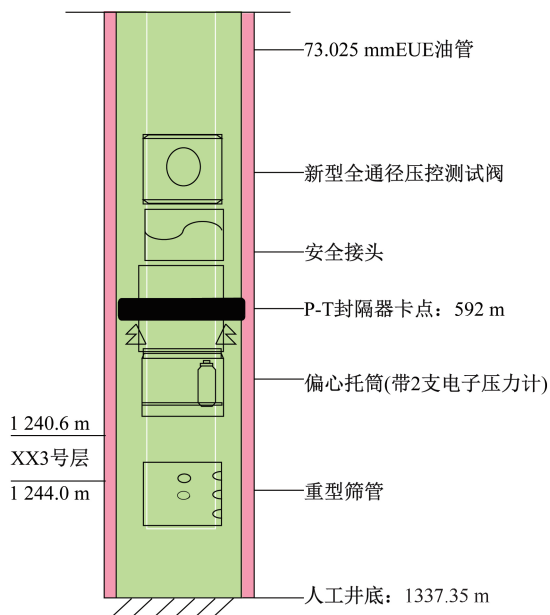


图 7 井下试验管柱结构示意图

Fig.7 Structural diagram of downhole testing string

工具下井前,计算组合式支承弹簧节数,即  $592 \text{ m} \div 350 \text{ m/节} \approx 1.69$  (节),应选用 2 节组合式支承弹簧,以防止球阀误动作和保证动力拉杆准确复位。按照图 8 所示,下入试验管柱。当试验工具下至目的深度后,留够方余进行封隔器坐封并安装井口。环空补液至井口,观察环空液面的稳定性。环空连接

泵车,并打压 7~15 MPa 进行两次开井测试,并在二开井期间钢丝绳投放  $\phi 35 \text{ mm}$  配重杆通过测试阀。

通过井底回放压力计数据曲线表明(图 8),相应的压力拐点均符合现场操作工况。此次现场试验,地面环控打压后测试阀开关成功,并且钢丝绳投放均过测试阀,达到了预定目标。

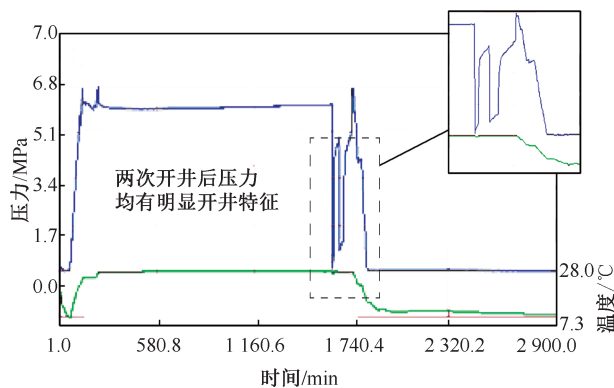


图 8 井下压力计监测曲线

Fig.8 Monitoring curve of downhole pressure gauge

## 4 结论

(1) 新型大通径压控式弹簧测试阀利用“弹簧”片组储能方式,通过改变“弹簧”片组数量,调节补偿力,当环空井底压力高于补偿力时,传动杆将牵引球阀,实现井下测试阀压控式开关。

(2) 该阀同时兼具大通径功能,球阀通径 40 mm 满足多种投放需求。

(3) 室内及现场试验均取得了预期效果。在室内进行千次开关操作实验后,球阀能准确归位;在 40 MPa 压力下稳压 60 min,开关正常。

(4) 具有保养成本低、操作简单等特点,能满足水平井、大斜度井及深层气井的复杂测试需求。

(5) 但该阀不能直观判断井下开关状态,容易造成误操作,有待进一步改进。

致谢:在此测试阀的研制和试验过程中,程绍鹏、刘柏超、胡伟和刘德君等工程师给予了大力帮助,在此表示感谢。

### 参考文献

- [1] 李俊杰. 地层测试(试油)技术的发展及展望[J]. 油气井测试, 2016, 25(5): 71-74.  
LI Junjie. Development and prospect for well test (oil test) technology [J]. Well Testing, 2016, 25(5): 71-74.
- [2] 文浩, 杨存旺. 试油作业工艺技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002: 48, 63.
- [3] 白学东, 张麦云, 赵朝阳, 等. 斯伦贝谢 PCTH 压控测试阀简介[J]. 油气井测试, 2004, 13(4): 77-79.  
BAI Xuedong, ZHANG Maiyun, ZHAO Chaoyang, et al.



- Brief introduction of Halliburton PCTH testing valve [J]. Well Testing, 2004, 13(4): 77-79.
- [4] 朱坤, 宋延拓, 王俊武, 等. 模块化地层测试器 RDT 工作原理及应用[J]. 国外测井技术, 2013(5): 51-54.  
ZHU Kun, SONG Yantuo, WANG Junwu, et al. Working principle and application of the modular reservoir description tool RDT [J]. World Well Logging Technology, 2013(5): 51-54.
- [5] 李江涛, 杨新华, 闵兵, 等. 地层测试开关井操作方法研究[J]. 油气井测试, 2008, 17(2): 51-53.  
LI Jiangtao, YANG Xinhua, MIN Bing, et al. A study for opening or closing operation of well testing tool [J]. Well Testing, 2008, 17(2): 51-53.
- [6] 龚明峰. 全通径压控地层测试器的研究与应用[J]. 试采技术, 2010, 31(2): 16-20.  
GONG Mingfeng. Research and application of full-bore pressure-controlled formation tester [J]. Well Testing and Production Technology, 2010, 31(2): 16-20.
- [7] 李加明. MFE 和 APR 地层测试器应用技术探讨[J]. 油气井测试, 2010, 19(4): 33-35, 38.  
LI Jiaming. Discuss for applied technology of MFE and APR formation tester [J]. Well Testing, 2010, 19(4): 33-35, 38.
- [8] 刘铮, 罗承跃, 鹿成亮. 全通径选择测试阀与 APR-N 阀在实际应用中的优劣对比[J]. 油气井测试, 2007, 16(2): 44-46.  
LIU Zheng, LUO Chengyue, LU Chengliang. Comparison of full bore selective testing valve and APR-N valve [J]. Well Testing, 2007, 16(2): 44-46.
- [9] 王瑞滨. 大庆油田大斜度井试油工艺[J]. 油气井测试, 2019, 28(3): 31-36.  
WANG Ruibin. Oil testing technology for highly deviated wells in Daqing Oilfield [J]. Well Testing, 2019, 28(3): 31-36.
- [10] 李加明, 黄天朋, 金强. 雅达瓦兰油田“四高”油气井完井测试工艺技术[J]. 油气井测试, 2019, 28(1): 25-31.  
LI Jiaming, HUANG Tianpeng, JIN Qiang. Completion test technology for "four-high" wells in Yadavaran Oilfield [J]. Well Testing, 2019, 28(1): 25-31.
- [11] 王凤清, 李善维, 刘蜀平, 等. 水平井试油测试配套技术[J]. 石油钻采工艺, 2012, 34(3): 121-124.  
WANG Fengqing, LI Shanwei, LIU Shuping, et al. Research on integrated technique of oil testing in horizontal well [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2012, 34(3): 121-124.
- [12] 温军彦, 朱蕙芸, 许兰婷. 智能测试阀简介[J]. 油气井测试, 2006, 15(1): 60-62.  
WEN Junyan, ZHU Huiyun, XU Lanting. A brief introduction of aptitude testing valve [J]. Well Testing, 2006, 15(1): 60-62.
- [13] 古新勇, 陈广全, 宋康, 等. 智能试油测试阀(ZNCS)在油气井中应用可行性分析[J]. 化工管理, 2016(27): 34-35.  
GU Xinyong, CHEN Guangquan, SONG Kang, et al. Feasibility analysis of intelligent oil test valve (ZNCS) application in oil and gas wells [J]. Chemical Enterprise Management, 2016(27): 34-35.
- [14] 王令宇. LPR-N 测试阀在实际应用中遇到的问题及其分析[J]. 内蒙古石油化工, 2012(4): 65-67.  
WANG Lingyu. Problems encountered in practical application of LPR-N test valve and their analysis [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2012(4): 65-67.
- [15] 张兴华, 周新宇, 杨子, 等. APR 测试工艺在压裂测试井中的技术创新[J]. 油气井测试, 2018, 27(5): 13-18.  
ZHANG Xinghua, ZHOU Xinyu, YANG Zi, et al. Technical innovation of APR testing technology in fracturing test wells [J]. Well Testing, 2018, 27(5): 13-18.
- [16] 于宗奎, 张昌朝. 非常规水平井地层测试技术研究与应用[J]. 油气井测试, 2013, 22(5): 56-57, 60.  
YU Zongkui, ZHANG Changchao. Research and application of testing technology in irregular horizontal well [J]. Well Testing, 2013, 22(5): 56-57, 60.
- [17] 周治岳, 刘俊丰, 温中林, 等. 涩北气田多层合采井分压测试技术[J]. 油气井测试, 2019, 28(2): 20-26.  
ZHOU Zhiyue, LIU Junfeng, WEN Zhonglin, et al. Separate pressure testing technique for commingling production wells in Sebei gas field [J]. Well Testing, 2019, 28(2): 20-26.
- [18] 高科超, 高飞, 杨子, 等. 渤海油田普通稠油冷采测试工艺[J]. 油气井测试, 2019, 28(1): 38-45.  
GAO Kechao, GAO Fei, YANG Zi, et al. Cold production testing technology for heavy oil well in Bohai Oilfield [J]. Well Testing, 2019, 28(1): 20-26.
- [19] 孙永涛, 刘光普. 海上高温高压井联作测试问题与对策[J]. 油气井测试, 2013, 22(5): 41-44.  
SUN Yongtao, LIU Guangpu. Combined operation of test problem and countermeasure to high temperature and high pressure well on the sea [J]. Well Testing, 2013, 22(5): 41-44.
- [20] 李传新. 压控选择性测试阀在 DUNGOK-1 井的应用[J]. 油气井测试, 2013, 22(3): 47-49.  
LI Chuanxin. Application of selective pressure controlled test valve in Dungok-1 well [J]. Well Testing, 2013, 22(3): 47-49.

编辑 张静仪

第一作者简介: 金磊, 男, 1983 年出生, 工程师, 2006 年毕业于东北石油大学电子信息工程专业, 现从事试油测试科研工作。电话: 0459-5687757, 18045915808; Email: jinlei@pet-rochina.com.cn。通信地址: 黑龙江省大庆市让胡路区银浪乘南十八街十八号试油试采分公司工程技术大队技术, 邮政编码: 163412。