

智能分层射流泵排液技术

邢晓光¹, 方正¹, 张辉², 王鹏¹, 王潇祎¹, 郭玉廷³

1. 中国石油集团渤海钻探工程有限公司油气井测试分公司 河北廊坊 065007

2. 中国石油华北油田公司勘探事业部 河北任丘 062552

3. 中国石油华北油田公司勘探开发研究院 河北任丘 062552

通讯作者: Email: xxiaoguang@cnpc.com.cn

项目支持: 中国石油集团渤海钻探工程有限公司科技研发项目“智能地层测试系统研制”(2019ZD04K)

引用: 邢晓光, 方正, 张辉, 等. 智能分层射流泵排液技术[J]. 油气井测试, 2021, 30(1): 21-25.

Cite: XING Xiaoguang, FANG Zheng, ZHANG Hui, et al. Discharge technology of intelligent stratified jet pump [J]. Well Testing, 2021, 30(1): 21-25.

摘要 常规地层测试排液联作技术劳动强度大、作业周期长、施工费用高。采用双封跨层方式,上部储层排液后,投球关闭常开阀,智能地层测试阀按预设控制程序自动开启下部储层,在充分考虑射流泵排液工序的基础上,形成智能分层射流泵排液技术。该技术在华北油田 XL901X 井现场应用,204 h 后智能地层测试阀自动开井,泵排期间监测压力未降,测试阀和滑套密封良好。利用“两阀两封”实现一趟管柱、两层排液的目的,减少一次洗压井作业,提高了作业时效,有效保护了油气层;同时下入双压力计,验证了两层间无串通,实现了不动管柱分层测试排液的目的,为多层快速试油提供了技术支撑。

关键词 智能地层测试阀;地层测试;分层排液;分层测试;射流泵

中图分类号: TE27 文献标识码: B DOI: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2021.01.004

Discharge technology of intelligent stratified jet pump

XING Xiaoguang¹, FANG Zheng¹, ZHANG Hui², WANG Peng¹, WANG Xiaoyi¹, GUO Yuting³

1. Well Testing Branch, CNPC Bohai Drilling and Engineering Co., Ltd., Langfang, Hebei 065007, China

2. Exploration Department, PetroChina Huabei Oilfield Company, Renqiu, Hebei 062552, China

3. Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Huabei Oilfield Company, Renqiu, Hebei 062552, China

Abstract: Conventional combination technology of formation testing and discharge has the characteristics of high labor intensity, long operation cycle and high construction cost. The double-sealing cross-layer operation method is adopted, when the discharge of the upper reservoir is completed, the ball is thrown to close the constantly open valve, and the intelligent formation test valve automatically opens the lower reservoir according to the preset control program. Based on fully considering the discharge process of jet pump, the intelligent stratified jet pump discharge technology is formed. The technology was applied in well XL 901x of Huabei Oilfield. After 204 hours, the intelligent formation test valve automatically opened the well, the monitoring pressure did not drop during pump discharge, and the test valve and sliding sleeve were well sealed. This technology can realize discharging of two layers using one trip string and “two valves and double seals”, which can reduce one time of well washing and killing operation, improve the operation efficiency, and effectively protect the oil and gas reservoir. In addition, double pressure gauges are installed to verify that there is no channeling between the two layers, so as to realize the purpose of layered test and liquid drainage without moving string, which provides technical support for multi-layer rapid oil testing.

Keywords: intelligent formation test valve; formation test; stratified discharge; stratified test; jet pump

目前,国内常用的地层测试器主要有 MFE、APR 和 PCT,其测试阀开关方式主要为提放式和压控式,与抽汲、气举、泵排等方式配合形成测试排液一体化技术^[1-2]。随着勘探开发进一步发展,快速试油、多层分层测试排液成为油田降本增效的主要手段^[3-4]。常规测试排液技术需要多次起下管柱,存在作业周期长、施工费用高等问题。为了提高测

试排液效率,达到快速落地地层液性和产能的目的,逐步发展形成了智能分层射流泵排液技术。

分层采油和分层测压技术在各油田应用较为广泛^[5-8]。郑忠博^[9]研制的测控一体配产器,可连续监测分层流量、压力、温度等数据,实现不动管柱随产随测、随测随调的分层采油。陈永昌等^[10-11]利用电缆将井下每层开关和压力计连接到一起,形成

了电缆控制分层测试技术。高飞明等^[12]报道了智能多参数分层测试技术,可实现分层压力恢复测试、测得产液剖面及单层段采油曲线,为后续的选泵和体液提供指导。这类技术主要用于油田开发后期的采油阶段,不能满足快速试油测试需求。

智能开关测试技术和不动管柱分层测试工艺是地层测试的发展趋势^[13-15]。马金良等^[16]利用压力起爆装置和安全投棒起爆装置的不同激发原理,实现了一趟管柱分层试油。李军等^[17]提出的不动管柱分层测试工艺,需要内封堵球座配合作业。周治岳等^[18]介绍了涩北气田 JCY-II 分采与测试一体化智控系统,通过气控实现封隔器坐封,电缆实现信号传输进行井下测试数据的录取。王恒等^[19]研制了以电动液压作为动力来源,采用 RFID 射频通信技术控制井下开关工具的方法。强晓光等^[20]报道了智能开关测试技术,可以根据设定程序自动完成开关动作,也可以通过地面打压控制开关状态,配合连续油管气举排液,并在冀东油田成功应用。王新志等^[21]报道了采用定时开关或井下移动数据采集器的智能开关器分层测压技术。刘义刚等^[22]在渤海油田采用分层注水井电缆永置智能测调技术解决了海上大斜度井、水平井测调难题。以上报道的智能开关阀及分层测试技术大多结构复杂,成本较高,另外,未见有关与具有深排强排功能的射流泵配合作业的智能分层射流泵排液报道。因此,根据多层快速试油的需求,以研制的智能地层测试阀为管内开关阀,设计了智能分层排液测试管柱,形成了智能分层射流泵排液技术。

1 智能地层测试阀原理及特点

智能地层测试阀具备两种开关方式:一是依靠预设控制程序实现自动开关井操作;二是通过环空压力脉冲方式取消预设控制程序,实现环空打压开关操作。同时具有自动加液垫功能,有效缩短施工周期。

1.1 结构组成

如图 1 所示,智能地层测试阀结构由传压系统,程序控制系统,动力电机,传动机构,开关阀,平衡阀,取样系统等组成。在开关阀上下各增加一个平衡阀,用以平衡井下液柱及地层压力,确保开关阀在井下能够自由运动。设计双开关阀作为封闭空间,完成井下取样。压力探头与环空相连,另一端与驱动模块相连,实现环空打压开关井。

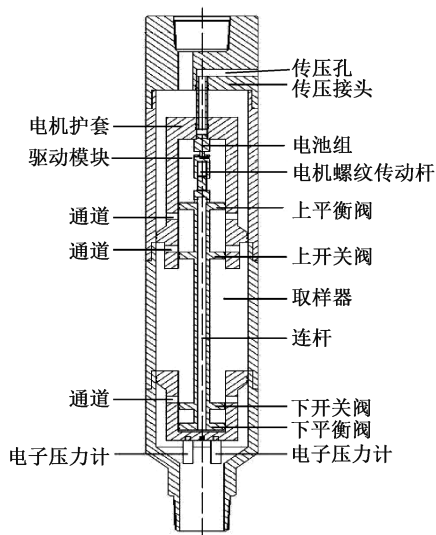


图 1 智能地层测试阀结构示意图

Fig. 1 Structure diagram of intelligent formation test valve

1.2 技术参数

智能地层测试阀主要技术参数为:总长 2.2 m;外径 108 mm;承压 60 MPa;耐温 150 ℃;取样器容积 1 000 ml;最小过流面积 298.4 mm²。

1.3 工作原理

按预设程序,动力电池驱动电机转动,使螺杆带动测试阀上下运动,实现井下开关井。开井时,地层流体沿下开关阀进入,通过取样仓,沿上开关阀流入油管内。关井时,上下开关阀同时关闭,阻断地层流体流入,同时地层流体圈闭在取样仓内,完成取样。

2 智能分层射流泵排液设计

将智能地层测试阀、射流泵、封隔器,以及压力计等测试工具用油管下入井内预定位置,坐封后无需人为操作,按预设控制程序完成开关井操作及射流泵排液。

2.1 管柱结构

智能分层射流泵排液管柱结构如图 2 所示,从上到下依次为:油管,射流泵筒,校深短节,油管,剪销封隔器,油管,常开阀,油管,智能地层测试阀,油管,外挂电子压力计,套管旁通阀,RTTS 封隔器,内置电子压力计。

各部件的主要功能:(1)射流泵筒。通过射流泵实现地层深排强排。(2)校深短节。通过伽玛测井确定短节深度,校正管柱深度。(3)剪销封隔器。一种施加压缩负荷的封隔器,用于封隔油套环空和油管,坐封位置在第二试油层上方。(4)常开阀。

通过投球后油管内打压,关闭滑套,封闭储层。(5)智能地层测试阀。通过预设控制程序实现开井操作,开启下部储层。(6)外挂电子压力计。用于录取第二试油层的压力。(7)套管旁通阀。平衡封隔器上下压力,减小起下钻激动压力。(8)RTTS 封隔器。用于封隔油套环空和下部地层,坐封位置在第二试油层与第一试油层之间。(9)内置电子压力计。用于录取第一试油层的压力。

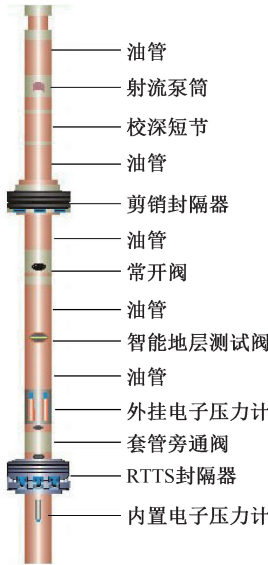


图 2 智能分层射流泵排液管柱结构示意图
Fig. 2 Schematic diagram of discharge string structure of intelligent stratified jet pump

2.2 工作流程

将测试工具依次连接好入井时,智能地层测试阀处于关闭状态,常开阀处于开井状态。

其工作流程为:(1)校深,调整管柱深度;(2)旋转管柱,坐封 RTTS 封隔器及剪销封隔器;(3)开始对第二试油层进行射流泵排液,外挂电子压力计录取压力资料;(4)排液结束后,按预先设定时间,智能地层测试阀打开,投球关闭常开阀;(5)开始对第一试油层进行射流泵排液,内置电子压力计录取压力资料;(6)排液结束后,反循环洗井,解封两级封隔器,起出智能分层射流泵排液管柱,测试结束。

3 现场应用

XL901X 井是冀中坳陷饶阳凹陷上的一口评价井,完钻井深 3 740. 00 m,最大井斜度 17. 9°。第一试油层为沙三段 3 685. 40~3 689. 00 m,厚度 3. 6 m,孔隙度 14. 55%,声波时差 245. 2 $\mu\text{m/s}$,含油饱和度 39. 2%,电测解释为油水同层;第二试油层为沙二段 3 486. 60~3 491. 40 m 和 3 513. 00~3 515. 40 m,厚

度 7. 2 m,孔隙度为 14. 55% 和 14. 3%,声波时差 238. 5 $\mu\text{m/s}$ 、234. 9 $\mu\text{m/s}$,含油饱和度 54. 64%、53. 91%,电测解释为油层。为了快速落实两层液性及产能,采用智能分层射流泵排液技术对该井进行了智能分层射流泵排液测试。施工过程见表 1。

表 1 XL901X 井施工记录	
Table 1 Construction record of Well XL901X	
时间	施工简述
9 月 13 日 18:20	连接测试工具,入井(智能地层测试阀关闭,常开阀打开)。
9 月 15 日 18:30	校深,调整管柱。
9 月 15 日 19:37	正转管柱,下放加压,封隔器坐封。
9 月 16 日 10:00	第二试油层(3 486. 60~3 515. 40 m)射流泵排液开始。
9 月 20 日 16:00	射流泵排液结束。
9 月 22 日 06:20	智能地层测试阀打开。
9 月 22 日 18:05	投球打压,关闭常开阀。
9 月 22 日 20:00	第一试油层(3 685. 40~3 689. 00 m)射流泵排液开始。
9 月 25 日 08:00	射流泵排液结束。
9 月 27 日 13:16	上提管柱解封封隔器。
9 月 29 日 18:00	工具起出井口。

外挂和内置电子压力计监测的井下流压曲线如图 3 所示。由图 3 可以看出,双级封隔器密封性能良好,智能地层测试阀、常闭阀开关井操作准确,真实记录了射流泵排液期间两套试油层的动态信息,测试工艺成功。

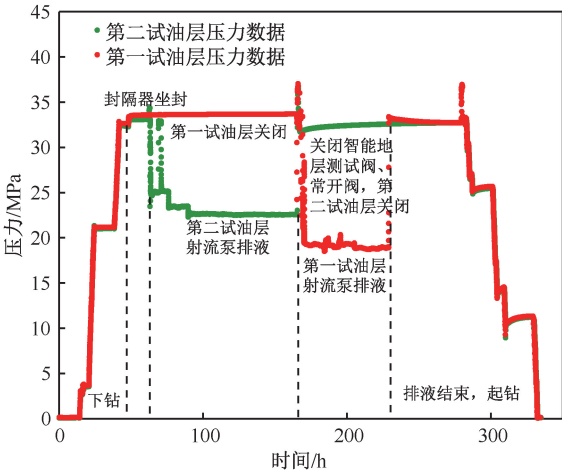


图 3 XL901X 井实测压力曲线图
Fig. 3 Measured pressure curve of Well XL901X

获取的产量数据曲线如图 4 所示。从图 4 可以看出,第二试油层的产量较高。射流泵排液累计 102 h,产油 16. 60 m^3 ,产水 138. 07 m^3 。根据 9 月 19 日 16:00~20 日 16:00 排液数据定产,喷嘴 2. 8 mm,泵压 16 MPa,排量 10 m^3/h ,日产油 6. 04 m^3 (已扣气泡 10%,含水 15%),乳化水 1. 12 m^3 ,游离水

23.06 m³。根据中国石油天然气行业标准《SY/T 6293—2008 勘探试油工作规范》划分标准,该层试油结论为油水同层。

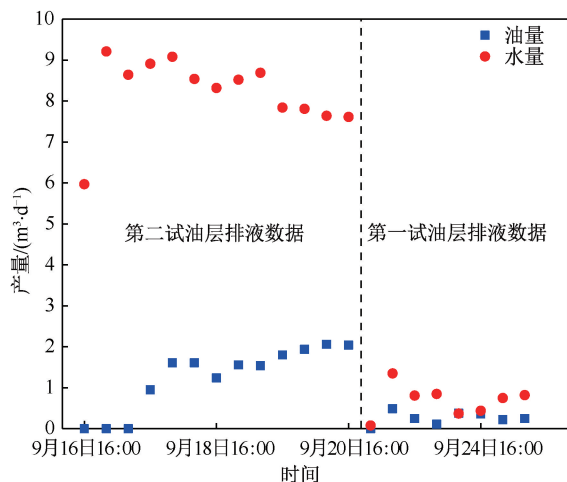


图4 XL901X井产量数据曲线图

Fig. 4 Production data curve of Well XL901X

第一试油层射流泵排液累计60 h,累计产油2.06 m³。累计产水5.80 m³。根据9月24日8:00—25日8:00排液数据定产,喷嘴2.8 mm,泵压16 MPa,排量10 m³/h,日产油0.83 m³(已扣气泡10%,含水8%~10%),乳化水0.08 m³,游离水2.01 m³。根据中国石油天然气行业标准《SY/T 6293—2008 勘探试油工作规范》划分标准,该层试油结论为低产油水同层。

第二试油层射流泵排液求产时间比第一试油层缩短41%。现场应用证明,智能分层射流泵排液技术有效缩短了作业周期,在更短时间内落实了两层的液性和产能,大幅提升了施工效率,为下步快速决策提供了真实数据。

4 结论

(1)智能地层测试阀通过预设控制程序或环空脉冲压力方式实现开关井,自动加液垫,有效提高测试排液工艺的可靠性和成功率,降低施工劳动强度,准确获取井下储层信息。

(2)智能分层射流泵排液技术可以实现一趟管柱完成分层测试、分层排液,无需起下管柱或进行管柱作业,有效缩短试油周期,控制施工成本。既能满足单层测试需要,又能实现智能分层测试排液,可以快速落实不同储层的液性、产能和压力等参数。

(3)针对勘探开发重点井,在管柱结构设计中增加井下无线传输监测系统,可以实时监测智能地

层测试阀的开关状态及管柱密封性能,保障地层测试成功率,提高施工质量。

致谢:感谢渤海钻探油气井测试公司和华北油田公司勘探事业部同意本文公开发表;感谢油气井测试公司评价解释中心、工程技术科,以及测试项目部对本文撰写提供的帮助和支持。

参考文献

- [1] 刘伟,仲学哲,赵江援,等. 试油测试一体化技术在冀东油田的应用[J]. 油气井测试,2012,21(4):35-37.
LIU Wei, ZHONG Xueze, ZHAO Jiangyuan, et al. Application the integrated tech of oil test and well test in Jidong Oilfield [J]. Well Testing, 2012,21(4):5-37.
- [2] 刘立砖,卢中原,李宇,等. 致密砂岩气井压裂测试排液一体化工艺技术[J]. 油气井测试,2020,29(2):21-26.
LIU Lizhuan, LU Zhongyuan, LI Yu, et al. Integrated technology of fracturing test and drainage in tight sandstone gas wells [J]. Well Testing, 2020,29(2):21-26.
- [3] 孙云鹏,罗淮东,曲兆峰,等. 乍得潜山油藏裸眼试油技术[J]. 油气井测试,2019,28(2):27-32.
SUN Yunpeng, LUO Huaidong, QU Zhaofeng, et al. Oil testing technology for open hole in buried hill reservoir, Chad [J]. Well Testing, 2019,28(2):27-32.
- [4] 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.
- [5] 刘合,郑立臣,杨清海,等. 分层采油技术的发展历程和展望[J]. 石油勘探与开发,2020,47(5):1027-1038.
LIU He, ZHENG Lichen, YANG Qinghai, et al. Development and prospect of separated zone oil production technology [J]. Petroleum Exploration and Development, 2020, 47 (5):1027-1038.
- [6] 谭绍翔,林家昱,张辉,等. 渤海油田大斜度井分层测压技术研究与应用[J]. 石油化工应用,2020,39(2):13-16.
TAN Shaoxu, LIN Jiayu, ZHANG Hui, et al. Research and application of straddle layered testing technology in Bohai Oilfield [J]. Petrochemical Industry Application, 2020,39(2):13-16.
- [7] 凌龙,任永宏,于波涛,等. 分层测压取样技术在油田监测中的应用[J]. 油气井测试,2017,26(3):60-62.
LING Long, REN Yonghong, YU Botao, et al. Application of separated layer pressure and sampling technique in dynamic monitoring of oilfield [J]. Well Testing, 2017,26 (3):60-62.
- [8] 王成峰. 分层注水井隔层测压封隔器解封机理[J]. 大庆石油地质与开发,2018,37(4):87-90.
WANG Chengfeng. Packer releasing mechanism of the barrier pressure test for separated-layer water injector [J]. Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing,

- 2018,37(4):87-90.
- [9] 郑忠博. 水平井缆控分层采油及测试一体化工艺[J]. 油气井测试,2020,29(1):28-34.
- ZHENG Zhongbo. Integrated technology of cable controlled stratified oil production and testing in horizontal well [J]. Well Testing, 2020,29(1):28-34.
- [10] 陈永昌,郭发军,田小川,等. 新型电缆控制分层测试技术[J]. 油气井测试,2020,29(1):53-59.
- CHEN Yongchang, GUO Fajun, TIAN Xiaochuan, et al. A new cable control layered testing technology [J]. Well Testing, 2020,29(1):53-59.
- [11] 陈永昌,魏鹏,王静,等. 新型电缆控制分层测试技术研究与应用[J]. 测井技术,2020,44(4):411-414.
- CHEN Yongchang, WEI Peng, WANG Jing, et al. Research and application of a new cable control layered testing technique [J]. Well Logging Technology, 2020, 44(4):411-414.
- [12] 高飞明,肖国华,王金忠,等. 油井分层测试技术的研究与应用[J]. 石油机械,2020,48(7):111-116.
- GAO Feiming, XIAO Guohua, WANG Jinzhong, et al. Research and application of oil well layered test technologies [J]. China Petroleum Machinery, 2020,48(7):111-116.
- [13] 杨百新,郝建中,董维新,等. 智能分层测试技术的研究与应用实例分析[J]. 油气井测试,2006,15(2):53-55.
- YANG Baixin, HAO Jianzhong, DONG Weixin, et al. Study on intelligent separate layer testing tech and its actual analysis [J]. Well Testing, 2006,15(2):53-55.
- [14] 杜香芝,李俊玲,刘玉艳. 智能井下开关器在试油中的应用[J]. 石油机械,2001,29(8):50-51.
- DU Xiangzhi, LI Junling, LIU Yuyan. Application of intelligent downhole switch in well testing [J]. China Petroleum Machinery, 2001,29(8):50-51.
- [15] 程英姿,贺东,汪团员,等. 一种新型油井智能分层开采与测试技术[J]. 钻采工艺,2015,38(3):46-48.
- CHENG Yingzi, HE Dong, WANG Tuanyuan, et al. A new kind of downhole intelligent switch used in separate zone production and testing [J]. Drilling & Production Technology, 2015,38(3):46-48.
- [16] 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 Chunning, et al. Integration of layered perforation and flowback by hydraulic pump in one trip [J]. Well Testing, 2018,27(2):22-26.
- [17] 李军,杨子,吴轩. 不动管柱分层测试管柱工艺研究与应用[J]. 辽宁化工,2017,46(9):926-929.
- LI Jun, YANG Zi, WU Xuan. Research and application of separate layer testing technology without pulling string-flowing back pipe [J]. Liaoning Chemical Industry, 2017,46(9):926-929.
- [18] 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.
- [19] 王恒,白玉新,黄建平,等. RFID 智能可控开关工具在试油分层测试中的应用[J]. 石油管材与仪器,2017,3(5):74-78.
- WANG Heng, BAI Yuxin, HUANG Jianping, et al. Application of RFID intelligent controllable switching tool in oil separate layer test [J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2017,3(5):74-78.
- [20] 强晓光,于友元,王磊,等. 智能开关测试技术在冀东油田的应用[J]. 油气井测试,2017,26(4):36-38.
- QIANG Xiaoguang, YU Youyuan, WANG Lei, et al. Application of intelligent switch test technology in the Jidong Oilfield [J]. Well Testing, 2017,26(4):36-38.
- [21] 王新志,马宏伟,沈威,等. 智能无线分层测压找水卡堵水工艺及工具设计[J]. 石油矿场机械,2018,47(5):38-42.
- WANG Xinzhi, MA Hongwei, SHEN Wei, et al. Layered wireless pressure measurement of water detection and plugging technology [J]. Oil Field Equipment, 2018,47(5):38-42.
- [22] 刘义刚,陈征,孟祥海,等. 渤海油田分层注水井电缆永置智能测调关键技术[J]. 石油钻探技术,2019,47(3):133-139.
- LIU Yigang, CHEN Zheng, MENG Xianghai, et al. Cable implanted intelligent injection technology for separate injection wells in Bohai Oilfield [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2019,47(3):133-139.

编辑 刘振庆

第一作者简介:邢晓光,男,1982年出生,工程师,2006年毕业于西安石油大学机械设计及自动化专业,现主要从事地层测试及相关技术管理工作。电话:0317-2551012,15931632637;Email:xxiaoguang@cnpc.com.cn。通信地址:河北省廊坊市广阳区万庄石油基地油气井测试分公司,邮政编码:065007。