

渤海油田井下关井测压工艺技术

付建民¹, 冯卫华¹, 马长亮², 赵杰¹

- 1. 中海石油(中国)有限公司天津分公司工程技术作业中心 天津 300452
- 2. 中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司 天津 300452

通讯作者: Email: zhaojie9@cnooc.com.cn

引用: 付建民, 冯卫华, 马长亮, 等. 渤海油田井下关井测压工艺技术 [J]. 油气井测试, 2018, 27(5): 61-65.

Cite: FU Jianmin, FENG Weihua, MA Changliang, et al. Downhole shut-in pressure measuring technology in Bohai Oilfield [J]. Well Testing, 2018, 27(5): 61-65.

摘要 渤海油田东营组储层具有中低孔渗的物性特征, 井筒储集效应大, 油田关井后压力恢复极为缓慢, 常规钢丝作业井下测压求取地层参数需要几天到几个月的时间, 严重占用井口时间。利用井下关井工具封堵油管的特性对测压工具串进行优化组合, 并与常规钢丝携带压力计测压方法结合, 形成了包括测试堵塞器、井下关井工具串及压力计的井下关井工具组合, 测试堵塞器允许钢丝穿过并携带下入至Y接头工作筒内, 井下关井工具在油管内坐封后, 地层流体无法进入顶部封隔器上部井筒, 最大限度减小了井筒储集效应, 实现了井下关井测压的目的。实践表明, 井下关井测压工艺6 h录取到的径向流数据优于井口关井20 d的压力数据, 可以解释出表皮系数、地层有效渗透率等参数, 大幅度提高了测压效率和资料的录取质量, 为利用原生产管柱关井测压探索出一条新的途径。

关键词 渤海油田; 试井; 压力恢复; 井下关井; 测压; 试井解释; 井筒储集效应; 分层测压

中图分类号: TE358 **文献标识码**: B **DOI**: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2018.05.011

Downhole shut-in pressure measuring technology in Bohai Oilfield

FU Jianmin¹, FENG Weihua¹, MA Changliang², ZHAO Jie¹

- 1. Well Construction and Intervention Center, Tianjin Branch of CNOOC Ltd., Tianjin 300459, China
- 2. CNOOC EnerTech-Drilling & Production Company, Tianjin 300452, China

Abstract: The Dongying Formation reservoir in Bohai oilfield has the physical characteristics of medium-low porosity and permeability, and its wellbore storage effects is large. After shut-in, the pressure recovery is extremely slow. It takes several days or even months for the conventional steel wire operation to measure the formation parameters. Which seriously taking up the wellhead time. According to the characteristics of the plugging tubing when shutting-in, this paper developed a downhole tool string of a test plug, a downhole shut-in string and a pressure gauge based on the optimizing the pressure measuring tool string and the pressure measuring method of conventional wire carrying pressure gauge. The test plug allows the wire to pass through and carry it into the Y-joint work cylinder. After the downhole shut-in tool is set inside the tubing, the formation fluid cannot enter the wellbore above the top packer, which minimize the wellbore storage effect and realize the purpose of downhole shut-in pressure measurement. The practical application shows that the radial flow data recorded within 6 hours of the downhole shut-in pressure measurement technology is better than the data recorded within 20 days of the wellhead shut-in. More importantly, these data can obtain parameters such as skin factor and formation effective permeability. The method maximizes the pressure measurement efficiency and the quality of the data and provides a new way for the shut-in pressure measuring by using the original production string.

Keywords: Bohai oilfield; well test; pressure build-up; downhole shut-in; pressure measurement; well test interpretation; wellbore storage effect; stratified pressure measurement

传统的测压方式是利用钢丝悬挂压力计测油气井压力^[1-3], 具有操作简单, 安全可靠的特点。许京涛等^[4]通过大港埕海区块试油中钢丝下电子压力计, 录取到的数据可以在射孔作业前计算负压值、射孔后开井测液面高度求产液量、地层压力系

数、压井液密度等, 为试油成功提供了重要保证。李青峰^[5]为了进一步掌握注水井污染情况、评价压力动态及注水能力, 采用电子压力计压降测试技术, 提供了注水井压力动态变化、地层污染状况、储层物性以及边界形态等数据, 为油田增产挖潜、制

定方案提供依据。易晓忠等^[6]针对采用常规压力计进行压裂井温监测中存在测试时间长、效率低、测试深度误差较大的缺陷,把磁定位技术引入到常规的压裂井温测试中,应用存储式接箍井温仪测试装置,提高了测试效率、缩短了测试时间,克服了压裂后排液时间缩短影响测试资料录取的困难,提高了测试资料质量。正因为钢丝悬挂压力计测压操作简单,功能少,决定了该工艺存在以下不足:(1)测静压时,因压力恢复为自由液面恢复,井储效应大^[7-8],尤其对于低渗生产井,需要数天到几个月不等的关井时间^[9-10];(2)无法分层测压^[11-14]。

鉴于以上情况,油田开发工作者为了在低渗油田得到合格的压力恢复数据,通过不同工艺实现了井下关井进行测压的要求。赵鑫等^[15]针对低压低渗储层开井压力释放快、产量低、关井压力恢复慢、井储效应大等现象,提出采用双封隔器跨隔测试的方法,通过控制卡距,明显缩小测试井储效应,取得了压力、温度及地层参数。王钧科等^[16]针对陇东地区延长统油藏常规测试工艺关井测压占井时间长、曲线不完整的特点,开展了井下关井测压技术试验,可大幅度削减井筒储存效应的影响,在较短的时间内可出现径向流段或边界反映,为油田的高效开发提供了可靠依据。贺治勇^[17]针对鄂尔多斯盆地三叠系油藏“低渗、低压、低产”的特点,利用井下关井测压技术大大减小了井筒储集效应的影响,缩短测试周期,提高试井效率和油田开发的经济效益。卓红等^[18]针对镇原油田三叠系油藏关井后压力恢复极为缓慢,常规测试测得径向流占井时间长的现象,通过应用井下关井测压技术,占用时间少,并取得最好测试资料。韩振国等^[19]利用 KPX 注水井分层测压管柱,与普通偏心配水测试技术进行对比,评价了该工艺在分层压力和分层压力测试上的发展及优势;根据不同区块不同的地层物性和实际生产情况,合理优化关井时间,摸索出不同区块的最优关井时间,进一步降低测压占井时间,提高油田的采油时率,提高经济效益。朱广社等^[20]针对靖安油田特低渗透特低渗透、关井压力恢复极为缓慢的特点,下入测压组合管柱进行关井测取压力恢复数据;可直接测得真实流压,大大缩短续流段,压力恢复迅速,流动阶段清晰,准确反映地层模型特征,通过试井解释软件处理,可以准确获得地层参数;不但资料录取更完整,解释符合率得以提高,同时大大缩短测试周期,节约了成本,提高了效

益。王沛甫等^[21]为了了解超低渗透油藏动态的变化,将井下封隔器与井下开关井测试阀组合,实现了关井压力恢复试井过程,井筒储集空间最大限度的缩小,消除了井筒储集效应的影响,有效缩短了井筒储集时间,使近井筒储层地质信息(裂缝、污染等)及晚期储层物性变化等外边界地层信息得以充分反映,为储层评价和地层压力准确获取创造了有力条件。但以上工艺的缺点是需要将原生产管柱起出,下入测压组合管柱至设计深度,先不坐封,安装井口,启泵生产一段时间后,再上提管柱坐封封隔器,进行井下压力恢复测试。

本文通过深入的调研和分析,结合实际情况,对井下堵塞工具进行优化改造,开发出一种利用原生产管柱进行井下关井测压的工具组合。在关井测压技术方面做了技术革新及优化,为精细掌握油藏变化提供了解决思路及方法。

1 技术简介

通过对井下堵塞工具可以封堵油管的特性进行优化改造,与常规钢丝携带压力计进行测压的方法结合,拓展出井下关井测压的功能,优选出一套新型井下关井工具组合。

1.1 技术原理

该套工具从上至下主要包括测试堵塞器、井下关井工具串及压力计,测试堵塞器允许钢丝穿过并携带下入至 Y 接头工作筒内,井下关井原理图如图 1 所示,井下关井工具在油管内坐封后,地层流体无法进入顶部封隔器上部井筒,最大限度减小了井筒储集效应。

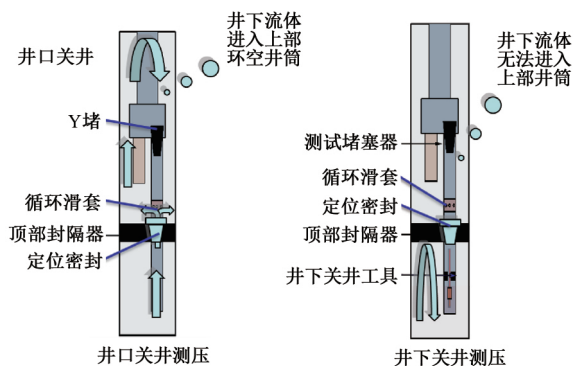


图 1 井口关井与井下关井示意图

Fig.1 Schematic diagram of wellhead shut-in and downhole shut-in

井下关井工具串(图 2)主要结构包括上、下卡瓦机构,密封胶筒和坐封及锁紧机构。

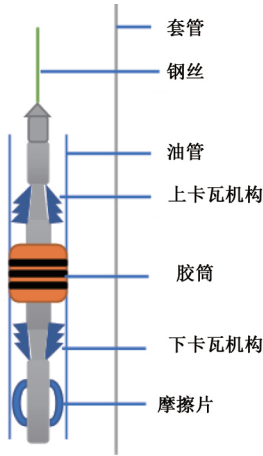


图 2 井下关井工具串
Fig.2 Downhole shut-in tool string

在油管内下入过程中下卡瓦机构处于短槽位置,这样确保下卡瓦不会撑开,下到预定位置后上提 5~10 m,此时下卡瓦自动换位到长槽位置,下卡瓦撑开锚定在油管内壁,利用加重杆的重量下砸堵塞器,剪断胶筒坐封销钉后上卡瓦机构下移,同时压缩胶筒坐封,此时上卡瓦也撑开与油管内壁形成锚定。胶皮坐封后,流体无法通过油管,双向承受最大压差 30 MPa。

测压工艺如下:
(1) 钢丝携带井下测压工具串至预定位置,测试堵塞器下入至 Y 接头工作筒。

(2) 启泵生产至规定时间,停泵。
(3) 第一时间坐封井下关井工具,压力计录取压力数据。

从图 1 也可以看出,要达到井下关井的目的,生产管柱必须带有定位密封,利用顶部封隔器实现上下空间的隔绝,利用井下关井工具封堵油管,使井下流体无法通过油管进入顶部封隔器上部的环空,从而达到井下关井的目的。

1.2 技术特点

利用井下关井工具封堵油管的特性,拓展出测压功能,消除了常规方式测压过程井筒内气、液双相压缩而产生的过大井筒储集效应的影响因素,其主要的井下关井工具技术参数见表 1。

表 1 井下关井工具技术参数				
Table 1 Specification of downhole shut-off tools				
名称	长度 /m	外径 /mm	温度 范围/℃	单向承受 压差/MPa
堵塞器	2. 11	56/70		
压力平衡器	1. 97	56	≤150	≤30
打捞器	0. 91	56		

由于该套工具是通过钢丝下入,并利用加重杆的重量下砸坐封封隔器,这就限制了该套工具无法在大井斜井中使用。对于具有多套生产层位的生产井,通过选择性打开生产滑套或将井下关井工具下入到不同位置,可以测量不同层位的地层压力。

2 现场应用

该技术 2017 年首次在渤海油田 B22S1 井进行应用试验,取得了良好的效果。

B22S1 井目的层位于东营组 J 砂层,孔隙度为 12%~15%,渗透率为 $9\times10^{-3}\sim38\times10^{-3}\mu\text{m}^2$,具有中低孔渗的储层物性特征。该井最大井斜 55.7°,最大狗腿度为 4.5°/30 m,生产管柱为“Y”分管柱,下入深度为 4 327.8 m。

2.1 井口关井测压

B22S1 井初期产能不佳,进行了为期 20 d 的传统方法井口关井压力恢复测试,得到的压力数据通过试井解释无法得出反映污染程度的参数,经过深入的分析与研究,井储效应大是无法进行试井解释的主要原因。

在关井压力恢复过程中,压力持续增长,没有达到稳定状态(图 3);双对数压力导数只有井储阶段的反映,没有表皮反映阶段和径向流段,无法进行试井解释(图 4)。

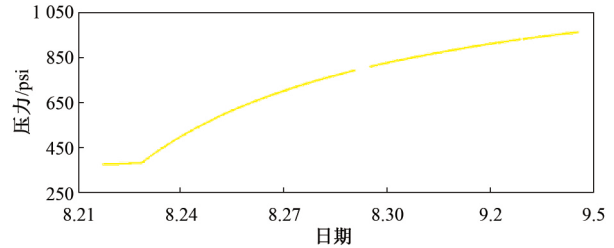


图 3 井口关井测压曲线
Fig.3 Pressure curve measured for wellhead shut-in

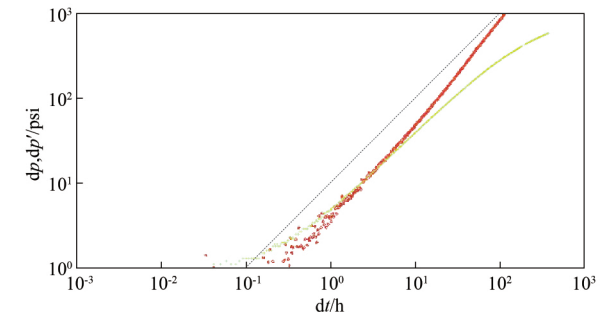


图 4 双对数压力导数曲线
Fig.4 Double logarithmic pressure derivative curve

2.2 井下关井测压

B22S1 井首次尝试井下关井工具进行地层压力测试,求取地层压力和地层参数,测试采用一开一关工作制度,测点深度为 3 798.00 m,垂深 2 779.58 m,利用一关霍纳外推地层压力为 14.97 MPa,折算到地层中部压力为 18.44 MPa,折算地层压力系数为 0.60,地层属异常低压系统(图 5)。

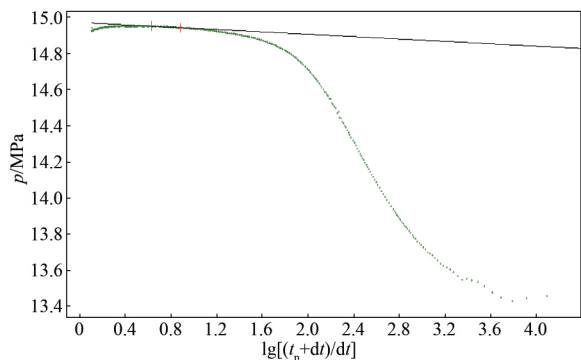


图 5 一关霍纳外推地层压力图

Fig.5 The Horner extrapolation formation pressure map for one shut-in

由双对数-导数曲线可以看出(图 6),在关井约 6 h 左右出现径向流,受临井生产影响(同一构造 B27 井在生产),曲线开始出现异常下降,但整体仍呈现均质油藏特征。选用“井储+表皮+均质无限大油藏”模型拟合得出:地层有效渗透率为 $34.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,表皮系数为 2.3,井筒附近储层有轻微污染。

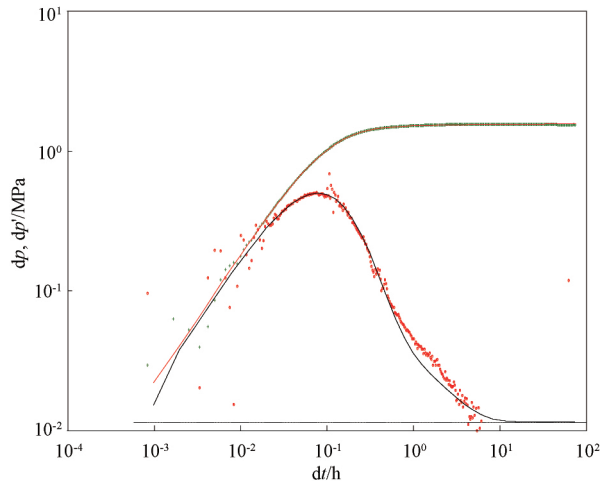


图 6 一次关井双对数-导数曲线拟合图

Fig.6 Double logarithm-derivative curve fitting diagram for one shut-in

在关井压力恢复后期,地层压力开始匀速微降,分析原因可能受到邻井生产影响,其压降漏斗扩散至本井测试范围内,计算的探测半径达 564 m,可能已探测到断层边界和临井;从另一方面说明,

两口井在横向上连通,储层供液不足,说明油藏范围有限,为后期措施提供了依据。

3 结论

(1) B22S1 井井下关井测压作业 6 h 录取到的径向流数据就可以解释出表皮系数、地层有效渗透率等参数,远远好于井口关井 20 d 的压力数据,证明了井下关井测压技术具有实际可行性。

(2) 由于该套工具是通过钢丝下入,并利用加重杆的重量下砸坐封封隔器,这就限制了该套工具无法在大井斜井中使用。通过选择性打开生产滑套或将井下关井工具下入到不同位置,可以测量不同层位的地层压力。

(3) 井下关井井储效应小,压力恢复时间短,加快单井复产进度,为渤海油田在原生产管柱进行测压探索出一条新的途径。

致谢:感谢中海石油(中国)有限公司天津分公司工程技术作业中心同意本论文的发表。

参考文献

- [1] 张云.投捞器在高含硫井试井中的应用[J].油气井测试,2009,18(3):45-46.
ZHANG Yun. Well testing for sour wells with high-sulfur content [J]. Well Testing, 2009,18(3):45-46.
- [2] 沈雪明.完井作业中的钢丝打捞操作[J].中国海上油气(工程),1996,8(5):32-37.
SHEN Xueming. Wireline fishing operation in completion practice [J]. China Offshore Oil and Gas (Engineering), 1996,8(5):32-37.
- [3] 何博,潘登,赵益秋.新型钢丝投捞井下电子压力计技术[J].钻采工艺,2015,38(4):74-76.
HE Bo, PAN Deng, ZHAO Yiqiu. A new type of slickline running and pulling downhole electronic pressure gauges technology [J]. Drilling & Production Technology, 2015, 38(4):74-76.
- [4] 许京涛,陈星,王剑,等.钢丝测压技术在滩海测试中的应用[J].中国石油和化工标准与质量,2014(12):59.
XU Jingtao, CHEN Xing, WANG Jian, et al. Application of steel wire pressure measurement technology in testing beaches [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2014,34(12):59.
- [5] 李青峰.电子压力计在水井压降测试中的应用[J].油气井测试,2004,13(5):90-92.
LI Qingfeng. Application of pressure drawdown test with electronic gauges in water well [J]. Well Testing, 2004,13(5):90-92.
- [6] 易晓忠,杨昌岷.存储式接箍井温仪测试装置在压裂井温监测中的应用[J].中国石油和化工标准与质量,

- 2013,33(20):179-180.
- YI Xiaozhong, YANG Changmin. Application of storage coupling well temperature tester in fracturing well temperature monitoring [J]. China Petroleum and Chemical Standards and Quality, 2013,33(20):179-180.
- [7] 陈艳芳,赵宏军.低渗气藏变井储试井分析研究[J].油气井测试,2017,26(3):33-35.
- CHEN Yanfang,ZHAO Hongjun. Well testing analysis and research on variable wellbore storage in low permeability gas reservoir [J]. Well Testing, 2017,26(3):33-35.
- [8] 杨玉祥.现代试井技术在低渗透油藏开发中的应用[J].油气井测试,2009,18(3):15-18.
- YANG Yuxiang. Application of modern well test technology in development of low-permeability oil reservoirs [J]. Well Testing, 2009,18(3):15-18.
- [9] 张斌.吐哈油田三塘湖盆地低压低渗油藏试油测试技术简介[J].油气井测试,2007,16(6):41-43.
- ZHANG Bin. A brief introduction of testing tech for low pressure and low percolation reservoir of Santan lake basin in Tuha oilfield [J]. Well Testing, 2007,16(6):41-43.
- [10] 赵忠健,张平,李治平.抽油井不停产测压新方法与分析新理论研究[J].石油天然气学报(江汉石油学院学报),2007,29(1):107-109.
- ZHAO Zhongjian, ZHANG Ping, LI Zhiping. New method of pressure measurement and analysis of pumping well without stopping production [J]. Journal of Oil and Gas Technology (J. JPI), 2007,29(1):107-109.
- [11] 王金友.大庆油田分层测压工艺及资料应用[J].石油钻采工艺,2003,26(1):63-66.
- WANG Jinyou. Separate layer pressure testing techniques & data application in Daqing oilfield [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2003,26(1):63-66.
- [12] 姜喆.分层测压工艺技术及资料应用探讨[J].化学工程与装备,2018(4):38-40.
- JIANG Zhe. Discussion on technology and data application of stratified pressure measurement [J]. Chemical Engineering & Equipment, 2018(4):38-40.
- [13] 宋显民,张立民,张宇辉,等.分层定量注水分层测压一体技术[J].石油钻采工艺,2016,38(4):526-530.
- SONG Xianmin, ZHANG Limin, ZHANG Yuhui, et al. Integrated technology of separate-layer quantitative water flooding and pressure monitoring [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2016,38(4):526-530.
- [14] 刘立强,裴晓丽,潘星,等.利用堵塞式压力计进行分层测压的研究与应用[J].石化技术,2015,22(7):191.
- LIU Liqiang, PEI Xiaoli, PAN Xing, et al. Research and application of layered pressure measurement by using the plug type pressure gauge [J]. Petrochemical Industry Technology, 2015,22(7):191.
- [15] 赵鑫,蒲春英,许金凤.低压低渗透地层测试方法[J].油气井测试,2001,10(5):49-50.
- ZHAO Xin, PU Chunying, XU Jinfeng. Well testing method for the low pressure and low permeability reservoir [J]. Well Testing, 2001,10(5):49-50.
- [16] 王钧科,王钊,汪宏伟,等.陇东地区延长统油藏测压技术[J].石油钻采工艺,2004,27(5):50-52.
- WANG Junke, WANG Zhao, WANG Hongwei, et al. Test pressure technique of Yanchang epoch reservoir in Longdong region [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2004,27(5):50-52.
- [17] 贺治勇.井下关井测压技术在特低渗透油田开发中的应用[J].大庆石油地质与开发,2006,25(2):37-38.
- HE Zhidong. Application of downhole shut-in pressure measuring technique in ultra-low permeable oil field development [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2006,25(2):37-38.
- [18] 卓红,何秀玲,王新海,等.井下关井测压技术改进研究[J].油气井测试,2013,22(5):38-40.
- ZHUO Hong, HE Xiuling, WANG Xinhai, et al. The improved research of down hole shut-in pressure measurement technology [J]. Well Testing, 2013, 22(5):38-40.
- [19] 韩振国,郭雷.一种新型注水井分层测压管柱实践及认识[J].油气田地面工程,2002,21(4):123-124.
- HAN Zhenguo, GUO Lei. Practice and cognition of a new type of stratified pressure measuring pipe column in water injection well [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2002,21(4):123-124.
- [20] 朱广社,汤仁文,陈君,等.井下关井测试技术在低渗透油田中的应用[J].石油天然气学报(江汉石油学院学报),2005,27(6):771-772.
- ZHU Guangshe, TANG Renwen, CHEN Jun, et al. Application of well shut-in test in low permeability oil field [J]. Journal of Oil and Gas Technology (J. JPI), 2005, 27(6):771-772.
- [21] 王沛甫,张钊,张斌,等.精细测压技术在超低渗透油田开发中的应用[J].石油化工应用,2011,30(8):39-42.
- WANG Peifu, ZHANG Zhao, ZHANG Bin, et al. Application of fine pressure measuring technology in development of ultra-low permeability oil field [J]. Petrochemical Industry Application, 2011,30(8):39-42.

编辑 刘振庆

第一作者简介:付建民,男,1981年出生,2004年毕业于中国石油大学(华东)石油工程专业,主要从事海上钻完井等技术管理工作。电话:022-66502277;Email:fujm@cnooc.com.cn。通信地址:天津市滨海新区海川路2121号渤海石油管理局大厦C座807室,邮政编码:300452。