

MFE 地层测试工具在大斜度井使用中的难点解析

刘光剑¹, 孙伟², 朱世杰¹, 王号天¹, 刘东兵¹, 瞿勇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. 中国石油冀东油田分公司勘探开发部 河北唐山 063000

3. 中国石油集团渤海钻探工程有限公司井下作业分公司 河北任丘 062552

通讯作者: Email: 50408239@ qq. com

引用: 刘光剑, 孙伟, 朱世杰, 等. MFE 地层测试工具在大斜度井使用中的难点解析[J]. 油气井测试, 2021, 30(6): 28-32.

Cite: LIU Guangjian, SUN Wei, ZHU Shijie, et al. Difficulty analysis of MFE formation testing tool in highly deviated wells [J]. Well Testing, 2021, 30(6): 28-32.

摘要 MFE 地层测试工具因其操作技术难度较大, 使用范围一般控制在井斜 45° 以内, 极大限制了其在测试工艺中的使用范围。在不断改进老式工具, 优化工艺的基础上, 结合近几年该工具在大量斜井中的使用经验, 对 MFE 测试工具在大斜度井使用中的难点进行解析, 提出了相应的解决措施。在晋古 XX 井施工中, 针对该井测试层位上部有射开层的特殊情况, 对井筒进行了通井和刮削, 以及地层汲水实验等作业, 采用相应的工艺和管柱, 配置不同的工具, 完成了测试施工任务。通过采取相应措施, 拓宽了 MFE 地层测试工具适用范围。

关键词 地层测试; MFE 工具; 测试管柱; 大斜度井; 自由点; 延时机构; 压缩距

中图分类号: TE27 **文献标识码**: B **DOI**: 10. 19680/j. cnki. 1004-4388. 2021. 06. 005

Difficulty analysis of MFE formation testing tool in highly deviated wells

LIU Guangjian¹, SUN Wei², ZHU Shijie¹, WANG Haotian¹, LIU Dongbing¹, QU Yong³

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

2. Exploration and Development Department, PetroChina Jidong Oilfield Company, Tangshan, Hebei 063000, China

3. Downhole Operating Branch, CNPC Bohai Drilling Engineering Co., Ltd., Renqiu, Hebei 062552, China

Abstract: The application range of MFE formation testing tool is generally restricted within 45° due to its huge technical difficulty in operation, which greatly limits its application range in testing technology. In this paper, the application difficulty of MFE test tool in highly deviated wells is analyzed and the corresponding solutions are proposed by the combination of the application experiences in recent years and the improvement of the old tools and process. During the construction process of Well Jingu XX, drifting, scraping operation of wellbore and the formation water drawing operation were carried out considering the fracture of the reservoir above the target test formation. The test construction task is completed by using the corresponding process, pipe string and configuring different tools. By taking corresponding measures, the application scope of MFE formation testing tool is widened.

Keywords: formation test; MFE tools; test string; highly deviated well; free point; delay mechanism; compression distance

随着国内钻井技术水平不断提升, 斜井、大斜度井, 以及水平井施工在全国各油田逐渐普及^[1-4]。MFE 地层测试工具以其成本低等特点, 应用范围逐步扩大^[5-7], 特别是多流测试器在斜井和大斜度井中的使用已逐渐成为常态^[8-10]。

近年来, 国家对环境保护要求越来越高, 同时受油气井施工降本增效等因素的影响, 钻井技术不断完善, 一个钻井平台上同时打多口井的情况极为普遍。这样做有利于提高土地使用效率、节约施工

成本, 但也不可避免的会造成斜井、大斜度井、定向井或水平井大量出现, 给测试施工增加了难度。为了安全生产, 节约成本, 除了选择压控工具以外, MFE 地层测试工具也是一种选择。

MFE (Multi Flow Evaluator) 地层测试工具是 Johnston 公司上世纪 60 年代生产的用于地层测试的一种获取地层资料的测试工具。1976 年 MFE 地层测试工具随一艘钻井平台引进国内, 经过国内技术人员的持续改进升级, 技术性能得到不断完

善^[11]。但在使用中发现,在斜井,特别是斜度较大井的开关井操作过程中,指重表的指针抖动较大,影响开关井时自由点的判断,造成测试失败的情况时有发生。

本文从 MFE 地层测试工具原理入手,对其在大斜度井和特殊井况下应用中的难点问题进行了全面分析,并结合实践提出具体解决方案,以期达到扩大其使用范围,发挥其更大功效的目的。

1 MFE 地层测试工具

测试作业中,主要是通过 MFE 地层测试工具获取地层压力各项参数及变化,通过梳理、分析,研判地层性质、产能等情况。但 MFE 地层测试工具通常需要与相应的辅助配套工具联合使用,才能达到测试目的。

1.1 工作原理及性能指标

MFE 地层测试工具通过封隔器坐封后上提测试管柱到自由点,然后下放管柱,并给测试器加压适当的吨位来达到开井或关井的目的(图1),即连通和隔绝地层与油管的通道,使电子压力计录取地层的流动曲线和压力恢复曲线。通过曲线对地层进行分析和定性,抽汲或负压诱喷,使地层液体或气体流出地面来判定地层的真实产能及液性。

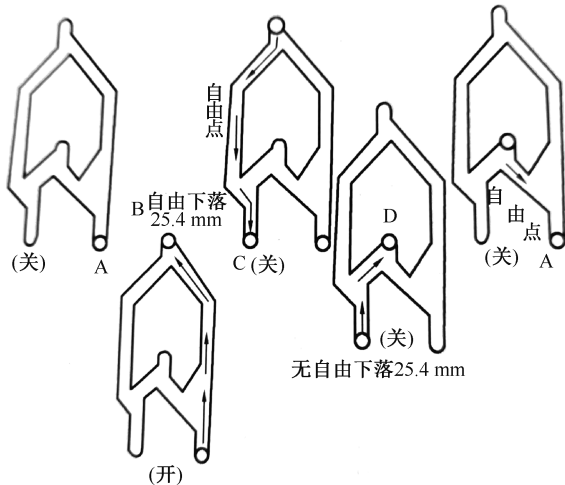


图1 MFE地层测试工具工作原理示意图

Fig. 1 Schematic diagram of working principle of MFE formation test tool

MFE 地层测试工具根据外径尺寸不同,分为 127 mm、108 mm、95 mm 和 79 mm 四种型号,通常使用的是 127 mm 和 95 mm 两种型号,其基本结构和原理大致相同。多流测试器是由换位机构、延时机构和取样器三部分组成(图2)。95 mm 的 MFE 地层测试工具适用耐酸、耐 H₂S 环境,抗拉强度

976 720 N,扭矩强度 10 744 Nm,破裂压力 137.9 MPa,挤毁压力 107.7 MPa,最大工作压差 106 MPa,最小内径 19 mm,组装长度 3 942 mm,最大组装扭矩 2 711 Nm,芯轴行程 254 mm,自由下落 25.4 mm,上下口型 73 mmEUE 73 mmCASE(目前在用的多流测试器口型)。延时时间 2~5 min,加压负荷 133 kN,工具内部和取样器试水压 69 MPa^[12]。

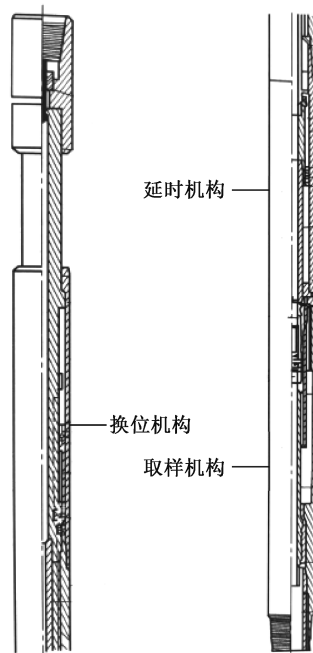


图2 多流测试器构成示意图

Fig. 2 Structure diagram of multi current tester

1.2 配套工具

多流测试器是 MFE 地层测试工具的主要测试阀,除此之外还有一些辅助工具配套使用:

- (1)反循环接头。起到循环压井的作用。
- (2)电子压力计及压力计托筒。录取地层温度及压力数据。
- (3)锁紧接头。在上提测试管柱时,给封隔器一个向下的作用力,防止封隔器提松。
- (4)P-T封隔器。它起到封隔环空和地层的作用,在解封时能平衡封隔器上下的压力。因承压低,已经淘汰。目前,用套管旁通和 RTTS 封隔器代替。这套工具的组合虽然比 P-T 封隔器复杂,但其能承受更高的负压,且套管旁通为防止提松封隔器提供保障作用,并已推广使用。
- (5)RTTS 剪销封隔器。与 RTTS 封隔器配合使用,可以针对需要测试的地层单独进行常规跨隔测试或跨隔测试射开联作等工艺。
- (6)开槽尾管。给管柱提供测试通道。

(7)减震器。降低在进行射孔作业时带来的震动,防止封隔器震松或对压力计的损坏。

(8)传压接头。联作时,可通过它对点火头传递压力,致使点火头起爆。

(9)筛管密封接头。提供生产通道并封隔环空和生产通道。

通过不同工具的配合,达到不同的测试要求,完成不同的测试工艺。MFE 地层测试工具根据工艺不同可分为中途测试、常规测试、MFE 测试射孔联作、MFE 跨隔测试、MFE 跨隔射孔联作^[13-14](该方案针对在测试层位下部有射开层并且不打桥塞的井况),还可以和射流泵等工艺组成三联作工艺(在反循环的上部加入射流泵或螺杆泵,以增加排液功能),以完成设计要达到的不同测试要求^[15-17]。

2 施工难点及解决措施

在大量的施工过程中,通过技术分析,找出主要施工难点,提出如下解决方案及注意事项:

(1)有些老井在封隔器的上部有射开层位,如环空液体流入地层易造成泵压式反循环提前打开,从而无法实现测试目的。环空液面过低,还会造成锁紧力不够,在操作测试管柱时,容易提松封隔器。

解决措施:针对封隔器上部有射开层的井况,在下钻前要先认识射开层位,通过对地层分别进行 5 MPa, 10 MPa, 15 MPa 三个级别打压,稳压 5 min,观察地层进液多少,判断是否满足射孔要求,进而判断下步措施时是否需要进行环空补液以及补液量的多少和间隔时间,根据稳压情况可以判断是采用测试联作工艺或是常规测试工艺,以及在联作工艺中是采用压力延时点火头还是压差点火头。针对漏液情况,选择断销式反循环,可避免泵压式反循环提前打开的问题。

(2)斜度大,下钻容易遇阻,在遇阻时如果加压吨位过大,会造成提前开井,致使环空压井液进入油管。这样,会造成提前开井,设计的压差不准,影响测试资料的录取或油管压力大于地层压力,导致开井后压井液倒流,污染地层。其次,反复坐封中会造成封隔器胶桶的损坏,无法起到圈闭测试层位的目的。

解决措施:下钻过程中要防止液压钳背钳打滑情况的发生,造成管柱正转,下放管柱坐封。在管柱进入造斜点时,严格控制好下钻速度,防止中途遇阻坐封,遇阻不超过 30 kN。遇阻后要及时上提管柱至原悬重吨位,静置 10 min 后再尝试下钻。

(3)测试射孔段斜度较大,无法实现一次校深,从而无法确定管柱的深度。

解决措施:需要进行多次校深,以确定已下油管的长度,最后一次校深确定其射孔深度、坐封位置,以及方余,并反复核实数据,方可进行下步坐封操作。

(4)如果预留的方余多,在二开抽汲时油管悬挂器则无法坐入井口,安装采油树,造成无法进行正常的抽汲作业;如果预留的方余少,在开关井作业时无法给多流测试器加上足够的吨位,造成测试器无法正常开关井作业。

解决措施:除正常的预留方余之外,还要考虑到摩阻距。把摩阻距计算在内,才是真实的方余,即方余等于油管压缩距与摩阻距,以及多流测试器压缩距之和。

(5)大斜度井的摩阻大,会造成指重表的指针晃动幅度较大,并且造成的假自由点多。无法判断正常的自由点,易造成重复操作,剪断换位销等情况,从而无法达到正常开关井的目的。

解决措施:在测试工具的上方加入两个扶正器,相当于用扶正器托起了部分油管,减小了油管和套管的接触面积,以减小摩擦阻力对自由点判断的影响,为观察自由点和给测试阀加压提供了保障。其次准确判断开关井是否成功也是保证测试成功的关键点。可以通过 MFE 测试阀的延时时间、自由点和自由下落现象以及压缩距等条件的综合判断,能更准确的判断开关井的成功与否。

(6)如果上部射开层位有产能,在解封过程中还存在遇卡的风险,可能会造成无法解封。

解决措施:在封隔器上部加入一个托沙皮碗,可以有效的防止解封遇卡问题的发生。

(7)根据井况的特殊环境,以及各个环节存在的风险,进行认真分析,及时解决困难。如遇无法解决的风险,要反推设计,防止不可预测的事故发生。

3 现场应用情况

晋古 XX 井是渤海湾盆地冀中坳陷束鹿凹陷束鹿西斜坡晋古 X 断块上的一口评价井。该井 xx 年 8 月 12 日完钻,完钻井深 4 535.0 m,垂深 2 823.82 m。8 月 28 日完井,人工井底 4 521.70 m,最大井斜 66.21°,深度 4 013.8 m,起始造斜深度 698 m。套管数据为 139.70 mm 9.65 mm +244.5 mm 8.94 mm +139.70 mm 9.17 mm,已换装 KY65/21 型采油井口。压井液为 1% 的弱酸性表面活性剂溶液,密度为 1.00 g/cm³。Es1 段 59#、60# 和 61# 层已射开,试油证实为水层,周围注水井尚未启注,深度在封隔器坐封位置上方。

为评价晋古 XX 井超覆地层控制的上倾尖灭油

藏含油气性,进行测射联作施工。本次射孔井段分别为 Es₃ 段 112[#]层 4 398.40~4 409.40 m 干层,113[#]层 4 412.00~4 422.40 m 油层,114[#]层 4 431.40~4 444.00 m 油层,115[#]层 4 461.60~4 466.00 m 差油层,117[#]层 4 484.00~4 488.00 m 油层。本次测试采用二开二关,二开抽汲工作制度。

3.1 施工前准备

针对该井测试层位上部有射开层的特殊情况,除正常的准备工具,对工具试压外,还对井筒进行了通井和刮削,以及地层汲水实验等作业,以保障施工的正常进行。

(1)通井。下外径 116 mm 通井规通井至本次测试目的层以下,中途遇阻加压小于 30 kN,记录 4 300.00 m 左右的上提下放摩擦阻。

(2)刮削、洗井、替液。下套管刮削器刮削至射孔段以下,于封隔器坐封段反复刮削至少三次,至悬重无明显变化时为止;循环洗井至出口机械杂质小于 0.02%,洗井结束后测已射孔井段吸水指数(分级打压 5~10~15 MPa,每级观察 5 min,记录最高打压值和压降情况);替 1%弱酸性表面活性剂射孔液后,起出管柱。

(3)地层汲水实验。通过对地层打压最高压力为 15 MPa,5 min,地层进液 200 ml,满足射孔要求(点火头起爆压力为 8.15~11.87 MPa)。

由于该井斜度大,开关井操作困难,预判该井自由点不明显,摩阻较大,校深难度大,决定在 MFE 和反循环接头之间加入一个扶正器,在反循环接头之上 20 根油管处加入第二个扶正器,以减小摩擦阻力对自由点判断的影响,在该井进行三次校深。

3.2 施工过程

根据设计要求,采用 MFE 地层测试联作工艺,管柱结构如其管柱结构如图 3 所示。次年 4 月 3 日工具入井,5 日通过三次校深。校深短节实测深度 4 212.30 m,应在 4 238.65 m 下放管柱 26.35 m。管柱下到位后,通过正转油管传递扭矩,RTTS 封隔器坐封,使测试层段与上部环空及已射开层段分隔开,并打开 MFE 测试阀,使封隔器下方口袋与油管内部联通。正转管柱 150 圈(因井的斜度较大,扭矩传递困难),下放加压 100 kN 坐封后一开井。其后通过环空打压,使点火头起爆,让射孔枪里的炮弹射穿套管及套管外的水泥环,使地层流体能进入封隔器下方口袋及油管内,通过油管内造成的负压,把底层液体充分的引流出来。环空打压 14 MPa,射孔枪响,泡泡头气泡显示弱,一关井,6 日二开井,抽

汲。20 日二关井。25 日上提 450 kN,封隔器解封。27 日工具起出井口,通过读取电子压力计的数据,回放判定开关井正常(图 4),自由点明显,操作稳定,资料符合设计要求,工艺成功。

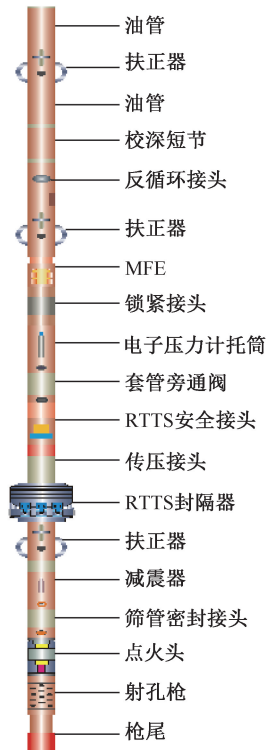


图 3 MFE 测试射孔联作管柱结构示意图

Fig. 3 Schematic diagram of pipe string structure for combined operation of MFE perforation and testing

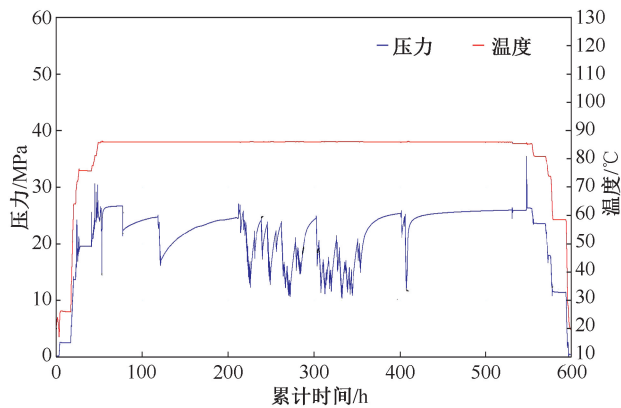


图 4 压力历史展开图

Fig. 4 Pressure history expansion

4 结论

(1)MFE 地层测试工具具有性能稳定,操作方便,动作灵活可靠,地面显示清晰,适用范围广,综合成本效益高等特点。

(2)MFE 地层测试工具在大斜度井的使用中,通过对特殊井况的分析,提前预判,提前做出解决

方案,充分准备,稳定操作,同样可以发挥出工具性能稳定的优势及价格优势。

(3)通过对 MFE 测试工具在斜井及大斜度井施工过程的难点解析,一期在以后的大斜度井的测试施工过程中提供借鉴。

致谢:感谢同事和家人在本论文撰写过程中给予的帮助和支持。

参考文献

- [1] 王焯炜,陈海涌,黄国荣,等. 苏里格气田大斜度井射孔工艺技术难点分析与应用[J]. 辽宁化工,2013,42(7):802-804.
WANG Yewei, CHEN Haiyong, HUANG Guorong, et al. Difficulty Analysis and Application of Highly-Deviated Well Perforating Technology in Sulige Gas Field [J]. Liaoning Chemical Industry, 2013,42(7):802-804.
- [2] 王英. 大斜度(水平)井射孔电缆输送工艺研究[J]. 中国石油和化工标准与质量,2014,34(7):114.
WANG Ying. Study on the perforating cable Transportation technology of high inclination (horizontal) well [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2014, 34(7):114.
- [3] 赵亚杰,高庆华. 延长油田水平井生产管柱配套技术研究及应用[J]. 石油化工应用,2016,35(10):19-22.
ZHAO Yajie, GAO Qinghua. Research and application of supporting technology of horizontal well production string in Yanchang Oilfield [J]. Petrochemical Industry Application, 2016,35(10):19-22.
- [4] 帅培勤,陈娟炜,黄显辉,等. 压裂与水力泵快速返排联作工艺在海拉尔油田斜井上成功应用[J]. 油气井测试,2013,22(5):48-50.
SHUAI Peiqin, CHEN Juanwei, HUANG Xianhui, et al. Successful application of fracturing and hydraulic pump quick nonflowing tech at sloped well in the Hailaer Oilfield [J]. Well Testing, 2013,22(5):48-50.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 温军彦. 大斜度井测试技术在 M-2 斜井的应用[J]. 油气井测试,2015,24(5):58-61.
WEN Junyan. Application of high deviated well test technology in M-2 inclined well [J]. Well Testing, 2015,24(5):58-61.
- [8] 康七虎,刘德君. 压控式井下电子多流测试器在大庆油田的应用[J]. 石油钻采工艺,2008,30(2):122-124.

- KANG Qihu, LIU Dejun. Application of downhole electronic pressure-controlled multiple flow evaluator to Daqing Oilfield [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2008, 30(2):122-124.
- [9] 胡宏山,尹书争. 大斜度井及水平井 MFE 测试工艺[J]. 油气井测试,1999,8(3):53-56.
HU Hongshan, YIN Shuzheng. MFE drillstem test technology in high angle wells and horizontal wells [J]. Well Testing, 1999,8(3):53-56.
- [10] 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.
- [11] 叶荣. 地层测试技术[M]. 北京:石油工业出版社,1989:5-13
- [12] 马永峰,庄建山,张绍礼. 油气井测试工艺技术[M]. 北京:石油工业出版社,2007:114.
- [13] 李军贤. 泵送桥塞射孔联作技术在水平井的应用[J]. 油气井测试,2017,26(6):56-57,61.
LI Junxian. Application of combined operation tech of bridge plug delivered by pump and perforation in horizontal well [J]. Well Testing, 2017,26(6):56-57,61.
- [14] 吴志均,段德祥,王文广,等. 明格布拉克构造“五高”深井试油测试技术[J]. 油气井测试,2020,29(2):13-20.
WU Zhijun, DUAN Dexiang, WANG Wenguang, et al. The oil test technology for “five high” deep well in Mingbulak structure [J]. Well Testing, 2020,29(2):13-20.
- [15] 赵爱军,孟广文. 跨隔+TCP+MFE+JET 四联作试油新技术的应用[J]. 油气井测试,2004,13(5):44-45.
ZHAO Aijun, MENG Guangwen. Application of a new testing technology, straddle+TCP+MFE+JET four combined technology [J]. Well Testing, 2004,13(5):44-45.
- [16] 温志平,李纪智,夏竹君,等. 海上螺杆泵测试技术及应用[J]. 化学工程与装备,2021(3):116-117.
WEN Zhiping, LI Jizhi, XIA Zhujun, et al. Marine progressing cavity pump testing technology and application [J]. Chemical Engineering & Equipment, 2021(3):116-117.
- [17] 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.

编辑 王军

第一作者简介:刘光剑,男,1976年出生,工程师,2009年毕业于西南石油大学石油工程专业,主要从事地层测试工作。电话:0317-2551693,13833601386;Email:50408239@qq.com。通信地址:河北省廊坊市广阳区万庄石油矿区渤钻测试公司,邮政编码:065007。