

提高偏心配水管柱测调验封时效对策

张远弟¹, 王丹凤¹, 王一鸣², 叶其军³

1. 天津石油职业技术学院 天津 301607

2. 中国石油华北油田分公司第四采油厂 河北廊坊 065007

3. 中国石油华北油田分公司第二采油厂 河北霸州 065700

通讯作者: Email: swwzyd@126.com

引用: 张远弟, 王丹凤, 王一鸣, 等. 提高偏心配水管柱测调验封时效对策[J]. 油气井测试, 2024, 33(4): 61-65.

Cite: ZHANG Yuandi, WANG Danfeng, WANG Yiming, et al. Strategies for enhancing effectiveness of testing, adjusting and sealing verification for eccentric water distribution column [J]. Well Testing, 2024, 33(4): 61-65.

摘要 现有偏心分注井测调验封工艺存在电缆下放易打扭、测调管柱提放遇阻、仪器对接困难、防喷管拆卸困难无法二次紧固等问题, 降低了测调验封成功率, 影响了多层油藏分层注水及时有效开展。在对不同类型故障原因分析的基础上, 通过设计加装简易电缆自动涂油防锈校正装置, 解决电缆打扭问题; 规范测调验封流程管理, 降低测试管柱遇阻风险; 优化调节臂外形由三角形改为尖矩形, 间距由 35 cm 增加至 60 cm, 提高了仪器对接成功率; 改进阻流管外形、改进防喷管连接装置紧固位置和方式, 提高防喷管安装效率。经现场 650 井次应用结果表明, 改进后的测调验封方法降低了测调井控安全风险, 一次测调验封成功率由 65% 提高到 85% 以上, 测试时间由 6~8 h 缩短至 4 h 以内, 对此类测试仪器改进和测调验封管理措施优化具有借鉴意义。

关键词 偏心配水管柱; 测调验封; 电缆打扭; 仪器对接; 遇阻; 防喷管; 分层注水

中图分类号: TE357

文献标识码: B

DOI: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2024.04.010

Strategies for enhancing effectiveness of testing, adjusting and sealing verification for eccentric water distribution column

ZHANG Yuandi¹, WANG Danfeng¹, WANG Yiming², YE Qijun³

1. Tianjin Petroleum Vocational and Technical College, Tianjin 301607, China

2. The Fourth Exploitation Factory of PetroChina Huabei Oilfield Company, Langfang, Hebei 065007, China

3. The Second Exploitation Factory of PetroChina Huabei Oilfield Company, Bazhou, Hebei 065700, China

Abstract: The existing technologies of testing, adjusting, and sealing verification for eccentric water layered injection wells faces challenges such as cable twisting during deployment, obstructions when raising and lowering the testing column, difficulties in instrument docking, and complications in blowout preventer disassembly which prevent secondary tightening. These issues reduce the success rate of testing and sealing verification, thereby affecting the timely and effective implementation of layered water injection in multi-layer reservoirs. Based on an analysis of various fault causes, solutions were developed, including the installation of a simple automatic cable lubrication and anti-corrosion correction device to address cable twisting; standardizing the testing and sealing verification process to reduce the risk of column obstructions; optimizing the shape of the adjustment arm from a triangular to a sharp rectangular design, increasing the spacing from 35 cm to 60 cm to improve instrument docking success rates; and improving the shape of the flow restriction pipe and improving the fastening position and method of the blowout preventer connection device to enhance the blowout preventer installation efficiency. Field tests on 650 wells demonstrate that the improved testing and sealing verification method reduces well control risks, increasing the success rate of one-time testing and sealing verification from 65% to over 85%, and shortening the testing duration from 6~8 hours to within 4 hours. These enhancements provide valuable insights for the improvement of testing instruments and the optimization of testing and sealing management practices.

Keywords: eccentric water distribution column; testing and sealing verification; cable twisting; instrument docking; obstruction; blowout preventer; layered water injection

非均质、多油层油田储层渗透性在层间和平面上有很大差异,如采用多层合注的笼统注水方式开发,很快就会暴露出层间、平面和层内矛盾^[1]。分层注水就是为了调整层间矛盾,同时控制油井含水和综合含水率上升速度,从而提高油田开发效果。因此,油田开发不仅要早期注水、内部注水,更重要的是实施分层注水。目前矿场分注管柱以活动配水管柱为主要类型,按照地质配注管理要求,分注井一般每季度需进行一次测调验封,以确保封隔器密封性,同时根据层位注水需要调整分层配水量。

近年来,国内各大油田企业和科研院所针对提高分注井测调验封效率、降低生产成本等方面做了大量工作。王超^[2]针对分注井电动测调需多次起下,操作复杂、仪器人工成本高等问题,研制了偏心分注井一体化验封测调工具,实现了一次下井分别完成验封和测调工作的目的。徐兴安等^[3]针对常规分注井钢丝电缆作业需投捞配水器、测试仪器,无法满足渤海油田大斜度分注井测试需求的问题,研发了分层注水井下集成配水器,并通过钢管电缆与地面测调控制器连接,避免了钢丝电缆作业。赵增权等^[4]针对传统分注井测调工作效率低、精度差和成本高的问题,研究了一种基于油田数智化发展的测试技术,该技术整合了智能管柱测调技术、预制电缆、智能配水器级封隔器等技术,为油田智能化测试技术发展提供了新的方向。

这些工作的开展提高了分层注水测调验封技术水平,但也不难发现,目前国内分层注水领域的研究主要集中在一体化测调验封技术及工具设备研究、智能分注测调验封工具设备研究等方面,而对分注井测调验封工艺在现场实施过程中遇到的具体实际问题却关注研究较少并鲜有介绍。实际上,在油田现场分注井测调验封实施过程中,由于测调仪器设计不合理、测试电缆老化打扭、防喷管组合安装等多种原因,导致测调验封所需时间长、效率低、调配成功率低,甚至部分水井无法完成测调验封。为了提高油田现场分注井测调验封成功率,真正将分层注水井的单层配水测试调配好,确保各级封隔器有效密封,有必要开展类似生产实际问题的研究。

1 偏心分注井测调验封工艺

偏心分注井测调验封工艺分为调配和验封工艺、测验一体工艺两种,后者是前者的集成革新,目

前正在各大油田推广应用。

1.1 验封和调配工艺

验封工艺:测试时将验封仪下至某一级封隔器上端,通过仪器自带磁定位显示的接箍数据和地面绞车深度数据,综合确定下入深度。地面控制打开定位爪,定位臂张开后下放仪器卡在配水器内壁的定位槽上。启动电机正转,验封仪密封胶圈压缩直至地面显示坐封到位。开井,通过地面控制盒显示器查看验封效果,确认验封结果后解封、收臂,进行下一级封隔器验封^[5]。

调配测试工艺:测试时将流量计与测试密封段相连,将流量计下至最下一级配水器以下 3~5 m,然后上提至配水器以上 3~5 m,地面控制打开定位爪,下放将流量计坐入配水器内测试该层段注水量,然后上提依次测出其他各层段注水量,当所测注水量不满足配注要求或配注量需要调整时,地面控制调整分层注水量。

验封和调配工艺采用两趟管柱完成分注井的测调验封,测调验封所需时间较长,以井深 2 500 m、三级四段偏心分注井为例,正常完成测调验封约需耗时 6~8 h,且管柱多次下井增加了管柱遇阻风险,影响测调成功率。

1.2 测验一体工艺

相对于传统的验封、测调工艺,测验一体技术具有明显优势。它集验封仪和测调仪于一体,通过地面控制系统可灵活切换测调和验封工作模式。在测调工作模式下,通过地面控制实现井下工具对接和水量调节;在验封工作模式下,通过采集处理地层压力数据,控制验封电机实现密封皮碗坐封解封和支撑爪的收回释放。实现了起下一趟管柱下井即可完成分层水量的测试调配和封隔器验封工作,缩短了测调时间,减少了仪器起下次数,测调效率提高一倍以上。尤其对部分井况复杂井、特殊井,起下次数的降低会降低发生仪器卡阻、故障比率^[6]。

伴随测调效率大幅提升的同时,也会大幅降低测试车组油料消耗和测试仪器、电缆折耗,综合生产成本降低 40% 以上,社会效率和经济效益明显,具有巨大的推广应用空间^[7-8]。

2 现场测调验封常见问题及改进

无论是验封和测调分体工艺还是测验一体工艺,在现场测调过程中,都会出现诸如电缆打扭、管

柱提放卡阻、仪器对接困难耗时长、验封仪无法正常坐封、支撑爪收回异常、防喷管连接困难等问题,这些问题的存在影响了测调验封工作的顺利开展,降低了测调验封成功率^[9-10]。以华北地区某采油厂统计数据为例,一次测调验封成功率在 65% 左右。这一方面会导致地质配注调整方案无法有效落实,降低配注合格率、影响区块原油产量;另一方面,由此导致的测调次数增加,影响了注水井的有效注水时间,也会间接降低原油产量;同时,测试次数增加也增加了综合测试成本,降低油田整体开发效益。针对上述问题,开展了针对性的设备设施改进和调整,以提高分注井测调验封成功率。

2.1 电缆打扭

打扭原因:井下测调工具上接电缆,电缆由绞车传动下放入井。在防喷管上方经定滑轮变为入井方向,继续下放电缆直至测调工具下至测调深度进行测试。按照测调工用具及电缆使用要求,每次使用前应对验封仪、测调仪、电缆、防喷管、滑轮等部分进行例行保养。由于电缆保养未保养或保养不足,易造成电缆断丝锈损,从而在电缆过程中在绞车、滑轮等处产生打扭遇阻,无法正常完成测试,严重时会造成电缆拉断、仪器落井等恶性事故^[11]。

问题改进:针对此问题,认为一是应加强对电缆的下入前、下入中检查,及时发现电缆断丝和下入过程中的打扭现象;二是加强电缆的使用前、使用中保养,减少电缆断丝锈损问题。

为此,在绞车电缆出口端设计加装了自动涂油防锈校正装置。在装置可实现自动涂油润滑的同时,还有助于绞车操手及时发现有无电缆打扭,一经发现打扭可立刻停止下放,避免了打扭故障加重,待故障解除后再继续测试。

2.2 管柱提放遇阻

分注井测调管柱自下而上依次为:马笼头+测调验封仪+电缆,管柱整体质量较轻,下入过程中如遇油管内有垢蜡砂等堵塞物,极易发生管柱提放遇阻。因此,起下电缆时应密切关注电缆张力和下放速度,如遇卡阻不可硬拉硬冲,防止卡阻问题加剧导致后续处理困难。

原因分析:注入水水质不合格、周期性洗井未严格落实或分注管柱长时间未更换,油管内壁结垢或堆积死油死蜡,导致油管通径缩小,测试仪器无法通过。如常用 73 mm 油管内径为 62 mm,测调仪器外径最大处为 42 mm,一旦油管因垢蜡阻导致内

部有效通径小于 42 mm,则极易产生卡阻。

治理对策:(1)严格水质标准要求。按照分注井所在油藏注水水质要求进行水质处理,确保源头水质合格;(2)严控周期洗井质量。按照注水井洗井周期,按时开展周期性洗井,洗井合格达标后方可停止洗井,确保洗井质量;(3)严格分注井完井油管使用要求。下分注井管柱时,一律采用检验合格的新油管,且通管规通管达标,按照区块水井质量控制要求,定期更换分注管柱;(4)每次测调验封前一天,必须对分注井进行洗井,洗井液用量达标、泵压稳定、进出口液性排量一致后方为合格。

2.3 仪器对接困难

部分分注井测调验封时,下入的测试仪器与分注堵塞器对接困难,需多次上提下放尝试对接,延长了测试时间,增大了测试管柱起下卡阻风险,甚至有时无法对接导致测试失败^[12]。

针对这种问题,通过拆卸偏心配水器对比所用测调验封仪器配套情况,对测调验封仪导向臂外形和调节臂间距进行了完善改进,从技术上提高了仪器对接成功率:(1)将导向臂外观由三角式改成尖矩形,如图 1 所示,减少了仪器在配水器中的配合间隙,降低了仪器在下入过程中的晃动;(2)调节臂间距由 35 cm 增加至 60 cm,使调节臂能更精确地对中水嘴调节槽,实现快速精准对接。

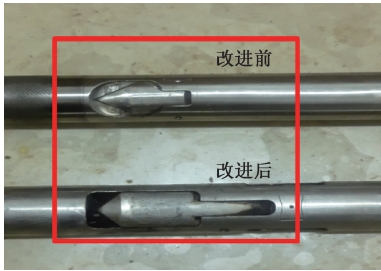


图 1 导向臂外观改进
Fig. 1 Improvement of the appearance of the guide arm

2.4 防喷管安装困难

和钻井、修井过程中的井控安全工作相比,分注测调验封时的井控风险相对较低,但也不能放松警惕,需严格按照操作规程安装防喷管,保证测试过程中的井控风险受控。

目前测调所用防喷管,一般采用钛合金材料制成质量更轻便于操作,携带和拆装都更加方便和安全。在井口将防喷管组合安装完成后,通过地面液压泵控制防喷管起升至正常工作位置。这种方式避免了测试人员站立在采油树上进行防喷装置安

装的情况,提高了测试安全性和施工效率。但在实际测试施工过程中,仍存在高压防喷头拆卸困难、防喷管无法二次紧固等问题^[13]。针对高压防喷头拆卸困难问题,将阻流管由外置式改进成内置式,使防喷头更加小巧直观,便于安装和拆卸(见图2),且阻流效果更好。通过改进防喷连接装置的紧固位置和方式,在原有基础上增加三个侧端面开孔,并加工一个专用扳手进行紧固(见图3),可以达到改善该装置在现场无法二次紧固的问题,消除了高压打出等事故隐患的目的^[14]。针对验封仪无法正常坐封、支撑爪收回异常等问题,主要对策是加强工具仪器的日常检查和保养,发现故障及时检维修,保障仪器正常工作状态。



图2 改进后的井口高压防喷头

Fig.2 Improved wellhead high-pressure anti spray head



图3 防喷管连接装置改进

Fig.3 Improvement of anti spray pipe connection device

3 现场应用

偏心分注井测调验封工艺系列改进措施自2020年起在华北油田生产现场推广应用,截止2023年11月底,应用改进后的测试工艺累计完成现场测调验封650井次,其中554井次实现一次测调验封成功,成功率达85.2%,平均测试时间缩短至4h以内。以C19-7井应用为例,该井2020年2月曾用改进前工艺进行测调验封,并于2020年6月进行复测,表1是该井应用改进措施前后测调指标对比,可以看出各项测调指标均有较大的提升,对于此类井快速完成调配、实现有效分层注水具有重要意义。

表1 C19-7井应用改进措施前后测调指标对比

Table 1 Comparison of measurement and adjustment indicators before and after the application of improvement measures in well C19-7

测调工艺	测调时间/(年·月)	测调准备工作	电缆是否打扭	管柱遇阻情况	堵塞器对接次数(次/堵塞器)	防喷管安装时间/min
改进前	2020.2	无	是	1 025 m处遇阻	3.5	45
改进后	2020.6	测调前一天洗井合格	否	未遇阻	1.25	12

另外,对一次测试未成功的96井次进行了分析:因注水压力高压力放不完的26井次,占比27.1%,对于此类井应分析油水井间是否存在有效连通,有无储层污染并进行针对性治理,同时可适当调整单井配注量;井口至300米井深范围内遇阻的28井次,占比29.2%,这类井遇阻深度较浅,可尝试进行清蜡热洗,分析油管新旧程度、结垢可能性,并加强后续分注井作业的质量监督管理;因井场、道路等问题造成无法开展测试的20井次,占比20.8%;遇阻深度在500m以上的22井次,占比22.9%,此类井需注意井斜影响、注入水水质对管柱的影响,同时应继续完善优化测试管柱配比,提高分注井测试仪器的通过性。

4 结论

- (1)采用加装电缆自动涂油防锈装置来预防和判断电缆地面打扭的方法是可行和简单有效的,避免了电缆锈蚀、断丝导致的地面故障,该方法不仅受到了现场操作员工的欢迎和认可,而且也将被电缆绞车制造厂家采用。
- (2)针对测试管柱提放遇阻问题,开展严控注入水水质、严控洗井周期和质量、严控分注井完井油管质量、测调验封前洗井等措施,可有效减少测试管柱遇阻问题。
- (3)将导向臂外观由三角式改成尖矩形,调节臂间距由35cm增加至60cm,可提高测试管柱下入



速度和对接准确性,从而提高测试效率。

(4)改进后的阻流管和防喷连接装置安装更加简洁高效,可灵活进行调整进行二次紧固,提高了测试现场井控安全。

致谢:感谢中国石油集团公司华北油田分公司第二采油厂测试大队在论文撰写过程中提供的帮助。

参考文献

- [1] 冯贵洪. 油田注水技术及发展现状[J]. 石化技术,2019,26(3):45.
FENG Guihong. Development and present situation of oilfield water injection technology [J]. Petrochemical Industry Technology,2019,26(3):45.
- [2] 王超. 偏心分层注水井一体化验封测调工具研制[J]. 石油矿场机械,2021,50(1):73-76.
WANG Chao. Development of the integrated seal checking and adjustment tool for eccentric stratified injection well [J]. Oil Field Equipment,2021,50(1):73-76.
- [3] 徐兴安,张凤辉,杨万有,等. 渤海油田分层注水测试新技术[J]. 油气井测试,2019,28(4):51-56.
XU Xing'an, ZHANG Fenghui, YANG Wanyou, et al. New testing technology of layered water injection in Bohai oilfield[J]. Well Testing,2019,28(4):51-56.
- [4] 赵增权,曹刚,曹钰宣. 油田分层测试工艺及数智化技术[J]. 油气井测试,2024,33(2):65-71.
ZHAO Zengquan, CAO Gang, CAO Yuxuan. Layered testing process and digital intelligence technology in oilfield [J]. Well Testing,2024,33(2):65-71.
- [5] 孟剑锋,李畅. 注水井验封测调仪研究[J]. 化学工程与装备,2016(1):44-45.
MENG Jianfeng, LI Chang. Research on water injection well sealing testing and adjusting instrument[J]. Chemical Engineering & Equipment, 2016(1):44-45.
- [6] 张威. 一体化测调验封技术[J]. 中国石油石化,2017(9):149-150.
ZHANG Wei. Integrated testing and sealing technology [J]. China Petrochem, 2017(9):149-150.
- [7] 冯贵洪,胡建新,王丽,等. 一体化测调验封技术应用研究[J]. 中国设备工程,2019(23):64-66.
FENG Guihong, HU Jianxin, WANG Li, et al. Research on the application of integrated testing and testing sealing technology [J]. China Plant Engineering, 2019(23):64-66.
- [8] 李鹏伟,王建宁,姜燕,等. 桥式同心分注井验封测调一体化工具研制及应用[J]. 石油矿场机械,2021,50(5):84-89.

- LI Pengwei, WANG Jianning, JIANG Yan, et al. Development and application of integrated seal test and adjustment allocation technology [J]. Oil Field Equipment, 2021, 50(5):84-89.
- [9] 张超. 注水井桥式同心分注优化模拟[D]. 西安:西安石油大学,2021:11-21.
ZHANG Chao. Optimization simulation of bridge type concentric split injection in water injection wells [D]. Xi'an: Xi'an Shiyu University,2021:11-21.
- [10] 穆化巍,陈小飞. 分层注水井验封及测调周期研究[J]. 石化技术,2016,23(12):294.
MU Huawei, CHEN Xiaofei. Research on sealing and testing cycle of layered water injection wells [J]. Petrochemical Industry Technology,2016,23(12):294.
- [11] 刘显治. 免释放测调联动高压分注技术及在欢北油藏中的应用[J]. 石油地质与工程,2016,30(4):136-137.
LIU Xianzhi. Non release testing and adjustment linkage high-pressure injection technology and its application in Huanbei oil reservoir [J]. Petroleum Geology and Engineering,2016,30(4):136-137.
- [12] 缪立南,刘洪俊,林伟. 从方法工艺上提高注聚测调效率[J]. 油气田地面工程,2014,33(6):30-31.
MIAO Linan, LIU Hongjun, LIN Wei. Improving the efficiency of polymer injection testing and adjustment from the perspective of methods and processes [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2014,33(6):30-31.
- [13] 乔志学,赵留阳,孔宪永,等. 无缆智能分注技术现场试验与应用[J]. 石油石化节能,2021,11(7):11-13.
QIAO Zhixue, ZHAO Liuyang, KONG Xianyong, et al. Field test and application of cableless intelligent separate injection technology[J]. Energy Conservation in Petroleum & Petrochemical Industry,2021,11(7):11-13.
- [14] 刘义刚,孟祥海,张志熊,等. 海上油田小井眼分注井测调一体化工艺研究[J]. 石油机械,2021,49(3):90-94.
LIU Yigang, MENG Xianghai, ZHANG Zhixiong, et al. Study on the integrated measurement and adjustment technology for slim hole separate injection wells in offshore oilfield[J]. China Petroleum Machinery,2021,49(3):90-94.

编辑 吴志力

第一作者简介:张远弟,男,1984年出生,讲师,2014年获得长江大学油气田开发工程专业硕士研究生学位,现从事采油工程、井下作业方面的教学和研究工作。电话:18632715116,Email:swwzyd@126.com,通信地址:天津市静海区团泊洼天津石油职业技术学院,邮政编码:301607。