

◀油气开发▶

doi:10.11911/syztjs.2020016

渤海油田可反洗测调一体分层注水工艺

郭宏峰, 杨树坤, 段凯滨, 季公明, 史景岩, 安宗辉

(中海油田服务股份有限公司油田生产事业部, 天津 300459)

摘 要:为解决渤海油田常规分注工艺反洗井难、调配效率及调配合格率低的问题,开展了可反洗测调一体分层注水研究。通过配套测调一体配水器、可反洗井封隔器,优化防砂、注水管柱结构,实现了不动管柱反洗井和测调一体功能,形成了渤海油田可反洗测调一体分层注水工艺。渤海油田 10 口注入困难的井应用该工艺进行了不动管柱反洗井作业,并进行了 30 井次的调配作业。现场应用结果表明,反洗井工具性能可靠,开关灵活,洗井效果良好,缓解了注水压力升高现象,降低了酸化频次;测调效率显著提高,平均单井调配周期仅需 10 h,相较常规分注工艺调配周期 2~3 d 大幅降低。可反洗测调一体分层注水工艺的成功应用,验证了该工艺的可行性,为渤海油田分层注水开发提供了新的技术手段。

关键词: 分层注水; 测调一体; 反循环; 洗井; 渤海油田

中图分类号: TE357.6

文献标志码: A

文章编号: 1001-0890(2020)03-0097-05

An Improved Integrated Reverse Washing, Measuring and Adjusting Zonal Water Injection Process in the Bohai Oilfield

GUO Hongfeng, YANG Shukun, DUAN Kaibin, JI Gongming, SHI Jingyan, AN Zonghui

(Production Optimization Division, China Oilfield Services Limited, Tianjin, 300459, China)

Abstract: The Bohai Oilfield has experienced challenges with its conventional zonal injection processes. Specifically, there have been difficulties with reverse washing, along with low distributing efficiency and low distributing qualified rate. To improve the situation, a study was carried out on the integrated reverse washing, measuring and adjusting zonal water injection process. By developing the integrated measuring/adjusting water distributor and reverse washing packer, the structures of sand control and water injection strings were optimized, and the integrated reverse washing/measuring/adjusting function with fixed string were achieved, thus forming the integrated reverse washing, measuring and adjusting zonal water injection process in the Bohai Oilfield. This process was applied in 10 wells that had difficulty in water injection. In fact, thirty well times of distribution adjustment were performed in the Bohai Oilfield. Field applications suggested that the performance of reverse washing tool was reliable, the switching was flexible, and the well washing effect was good, which effectively alleviated the increased water injection pressure and reduced the frequency of acidizing. The measuring/adjusting efficiency was significantly improved, and the average single well distribution adjustment cycle was shortened to 10 hours, which was significant shorter than that of the conventional zonal injection processes (2–3 days). The successful applications of the integrated reverse washing, measuring and adjusting zonal water injection process verified the feasibility of this process and provided new technical ideas for the zonal water injection development of Bohai Oilfield and thereby improve the efficiency of acidizing.

Key words: layered water injection; integrated measurement and adjustment; reverse circulation; well cleanout; Bohai Oilfield

经过多年开发,渤海油田已进入注水开发阶段。截至 2019 年 1 月,注水井多达 800 余口,分层注水率约为 96%,注水开发效果关系到油田的持续稳产、增产。但是,近些年随着注水井大幅度增加以及该油田对后期调配要求的不断提高,常规分层注水工艺(空心集成、同心分注和地面分注等)存在的问题逐渐暴露出来,如常规分层注水工艺测调作业占用井口时间长,影响平台其他作业;调配效率

和合格率低;管柱不具备反洗井功能^[1-7]。

为解决渤海油田分层注水井存在的问题,采用了自提升式反洗井分层注水工艺、智能分层注水工艺等^[8-11],均取得了一定效果,但这些分层注水工艺

收稿日期: 2019-03-16; 改回日期: 2019-12-20。

作者简介: 郭宏峰(1985—),男,河北唐山人,2009年毕业于长江大学应用化学专业,高级工程师,主要从事油田增产方面的技术研究工作。E-mail: guohf2@cosl.com.cn。

的适用性、可靠性普遍较差。为此,笔者结合渤海油田注水井的地层条件、完井方式等,借鉴国内成熟的分层注水技术^[12-16],研发了可反洗测调一体分层注水工艺。现场应用表明,该分层注水工艺在大幅度提高测调效率的基础上,可实现不动管柱反洗井,应用效果良好。

1 常规分层注水工艺存在的问题

渤海油田应用的常规分层注水工艺主要有投捞式分注(空心集成、同心分注)和地面分注等^[1-7],其中投捞式分层注水工艺是利用钢丝反复投捞井下水嘴进行分层调配,地面分层注水工艺是通过地面调节不同注入管汇的流量实现井下分层调配。这些常规分层注水工艺主要存在以下问题:

1) 无反洗通道,无法实现不动管柱反洗井作业。海上油田由于受空间限制,生产水处理流程较短,停留时间短,注入水水质波动较大,长期注水容易导致井筒及近井地带堵塞。定期进行反洗井作业可以将井筒附近污染物及时冲洗至地面,既能减缓井筒及近井地带堵塞,降低注水压力,又可以防止污染物及地层出砂卡住注水管柱。但常规分层注水管柱多采用“定位密封+配水器+插入密封”的结构,尚不具备反洗井功能,无法满足海上日益迫切的不动管柱反洗井需求。

2) 测调效率低,影响平台其他作业。常规投捞式分层注水工艺测调时,需要利用钢丝反复投捞水嘴,导致调配效率低,平均单井调配时间长达3~4 d;测调精度低,调配合合格率仅有80%,而且测调作业时大量占用平台有限的空间和施工时间,影响了平台上其他作业。近些年,随着注水井数量增多和分层注水管理要求的不断提高,常规分层注水工艺已无法满足现场应用需求。

3) 套管带压注水,不符合安全注水要求。地面分层注水工艺可以实现地面实时测调,无需井口作业,但该工艺采用的注水管柱结构复杂,需要套管带压注水,而长期带压注水容易对套管造成损伤。另外,该工艺最多只能实现3层注水,对于注水层位较多的井适应性差。

2 可反洗测调一体分层注水工艺

2.1 工艺原理

针对常规分层注水工艺存在的问题,研发了可反洗

测调一体分层注水工艺,主要通过入井电缆为测调仪供电,并传输数据、指令,其工艺原理如图1所示。

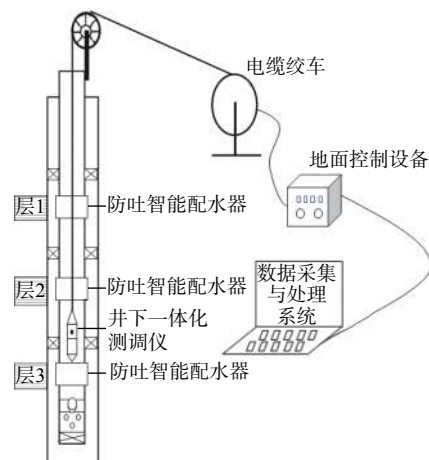


图1 可反洗测调一体分注工艺原理示意

Fig.1 The principle of integrated reverse washing, measuring and adjusting zonal water injection process

测调仪与配水器(水嘴内置)对接后,采用边调边调的方式进行流量测试与调配。通过地面仪器监测流量压力曲线,实时调节注水阀水嘴开度,无级调节,直至达到配注流量。工具一次下井即可完成所有层段测试和调配。

2.2 管柱结构

可反洗测调一体化管柱采用了分层防砂、分层注水一体化的设计理念,由外层的分层防砂管柱和内层的分层注水管柱组成,分层防砂管柱主要由顶部封隔器、隔离封隔器、筛管、盲管和油管锚组成,分层注水管柱主要由注水封隔器、测调一体配水器和反洗阀等组成(见图2)。分层防砂管柱和分层注水管柱分体设计,分层注水管柱可单独检换^[5-7]。

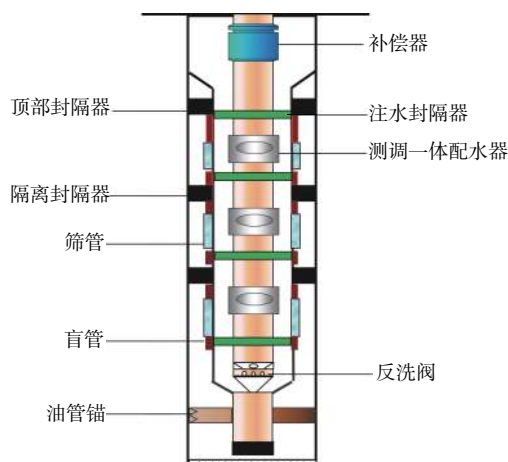


图2 可反洗测调一体工艺管柱

Fig.2 The integrated reverse washing, measuring and adjusting pipestring

2.3 工艺参数

可反洗测调一体分层注水工艺包括分层防砂管柱下入、分层防砂管柱验封、分层注水管柱下入、分层注水管柱验封和分层注水管柱测调等工艺过程。该工艺针对海上油田 $\phi 177.8$ mm 和 $\phi 244.5$ mm 套管射孔井研制, 满足渤海油田多层、大排量注水的需求。具体的工艺参数为: 流量 $< 500 \text{ m}^3/\text{d}$, 井斜角 $\leq 60^\circ$, 井温 $< 140^\circ\text{C}$, 工作压差 $< 35 \text{ MPa}$, 分层数 < 8 层, 调配合格率 $\geq 90\%$ 。

3 反循环洗井工具及管柱设计

3.1 反循环洗井工具

反循环洗井工具的关键部件是防蠕动密闭自锁封隔器, 其结构如图 3 所示, 主要包括防蠕动机构、密闭自锁机构和解封机构。防蠕动机构是由第一胶筒、液缸和活塞构成独立的密闭压力系统, 注水时, 水流经上液孔推动液缸上移, 挤压液压油, 使第一胶筒膨胀坐封, 第一胶筒承受管柱的蠕动力。密闭自锁机构的工作原理: 注水时, 水流经下液孔进入, 挤压第二胶筒膨胀坐封, 同时液压力释放单向阀; 停注后, 单向阀自动关闭下液孔, 将液压力密闭在第二胶筒内, 第二胶筒始终处于坐封状态。解封机构: 反洗井时, 油套环空的压力液由反洗进液孔进入, 打开下液孔, 密闭在第二胶筒内的液压力释放, 第二胶筒解封。

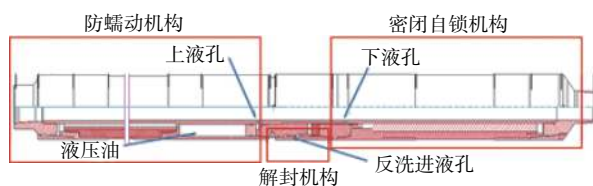


图 3 防蠕动密闭自锁封隔器结构示意图

Fig.3 Schematic of the anti-creep self-locking seal packer

3.2 反循环洗井管柱

注水时, 防蠕动密闭自锁封隔器坐封, 实现分层注水。反洗井时, 通过油套环空加压, 使防蠕动密闭自锁封隔器解封, 洗井液进入防砂层段。进入防砂层段的洗井液, 一部分进入筛管与套管环空, 清洗筛网与炮眼; 另一部分进入注水管柱与筛管环空, 清洗配水器水嘴和管壁。最后, 洗井液经洗井阀进入中心油管返至地面。反循环洗井管柱如图 4 所示。

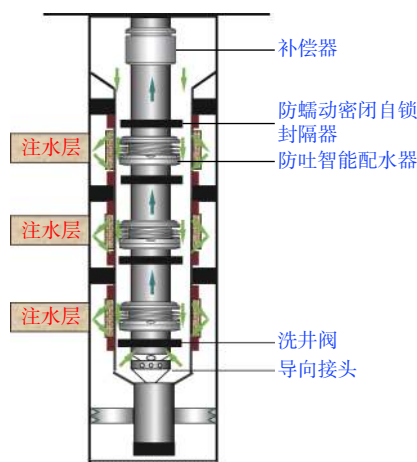


图 4 反循环洗井管柱示意图

Fig.4 Schematic of reverse circulation well cleanout

4 现场应用

可反洗测调一体分注工艺自 2018 年开始现场应用以来, 已累计应用几十井次, 取得了很好的应用效果。其中, 10 口注入困难的井进行了不动管柱反洗井作业, 反洗井后各井的注水能力均得到了不同程度的提升, 延长了酸化周期(平均可延长 2 个月); 此外, 完成了 30 井次的调配作业, 平均单井调配工期仅需 10 h, 相较常规投捞式分层注水工艺 2~3 d 的调配工期, 测调效率大幅提高。下面以 A 井为例具体介绍其应用情况。

渤海油田 A 井分 6 层注水, 最大井斜角 42.8° , 部分注水层位因砂埋注不进水, 决定采用“大修打捞+补射孔+分层防砂+分层注水”的方式恢复注水, 后期“分层防砂+分层注水”部分采用可反洗测调一体化分层注水工艺。分层防砂管柱和分层注水管柱均顺利入井, 分层防砂管柱和分层注水管柱验封均合格。分层注水初期, 对 A 井进行了模拟测调。

4.1 测调作业

考虑 A 井恢复注水时间较短, 地层注水还不稳定, 故仅进行模拟测调, 以验证测调工具的灵活性和可靠性。A 井模拟测调结果见表 1。

现场作业中, 6 层模拟测调仅用时 11 h, 一体化配水器打开、关闭正常, 大大提高了测调效率。

4.2 反洗井作业

由于 A 井注入水水质较差, 注水 3 个月后地层吸水能力明显下降, 判断井筒及近井地带出现了堵塞。为缓解地层堵塞问题, 实施了反循环洗井作

表 1 A 井模拟测调结果

Table 1 Simulation deployment results of Well A

防砂层段	层位	配水器编号	配水器测调情况
第6防砂段	L50—L70	配6	将流量由490 m ³ /d调小到260 m ³ /d, 再调大到480 m ³ /d, 证明配水器测调正常
第5防砂段	L74—L80	配5	将流量由256 m ³ /d调小到188 m ³ /d, 再调大到260 m ³ /d, 证明配水器测调正常
第4防砂段	L82	配4	将流量由140 m ³ /d调小到60 m ³ /d, 再调大到145 m ³ /d, 证明配水器测调正常
第3防砂段	L84—L92	配3	转动配水器, 调节流量不变, 且电流由90 mA增大到118 mA, 说明该层在此压力条件下不吸水, 建议进行酸化处理
第2防砂段	L94—L96	配2	将流量由79 m ³ /d调小到45 m ³ /d, 再调大到65 m ³ /d, 证明配水器测调正常
第1防砂段	L100	配1	将流量由44 m ³ /d调小到15 m ³ /d, 再调大到45 m ³ /d, 证明配水器测调正常

业, 将井筒底部污染物携带至地面。

导通反洗井流程, 环空注水排量 16~25 m³/h, 注水压力 2.5~5.0 MPa, 反洗井过程中控制注水排量, 在保证地层无漏失或漏失较小的情况下, 将反洗排量由小逐渐增大, 待进出水水质一样时, 停止反洗。洗井返出液的颜色如图 5 所示(从左向右按洗井作业时间的先后顺序排列)。

观察并分析图 5 可知, 前期返出液较脏, 含有大量的死油, 静置后容器底部含有大量悬浮状泥质类物质; 随着反洗水量增大, 返出液逐渐变得清澈, 说明反洗过程中携带出大量污染物。

该井于 2018 年 9 月 17 日后开始实施反洗作



图 5 反循环洗井中返出液的颜色变化

Fig. 5 Color change of returns in reverse washing

业, 反洗作业前后的注水动态曲线如图 6 所示。

从图 6 可以看出, 反洗后该井的日注水量由之前的不足 800 m³ 提高到了 950 m³ 左右, 注水量增加明显, 说明反洗井工艺起到了解堵增注作用。

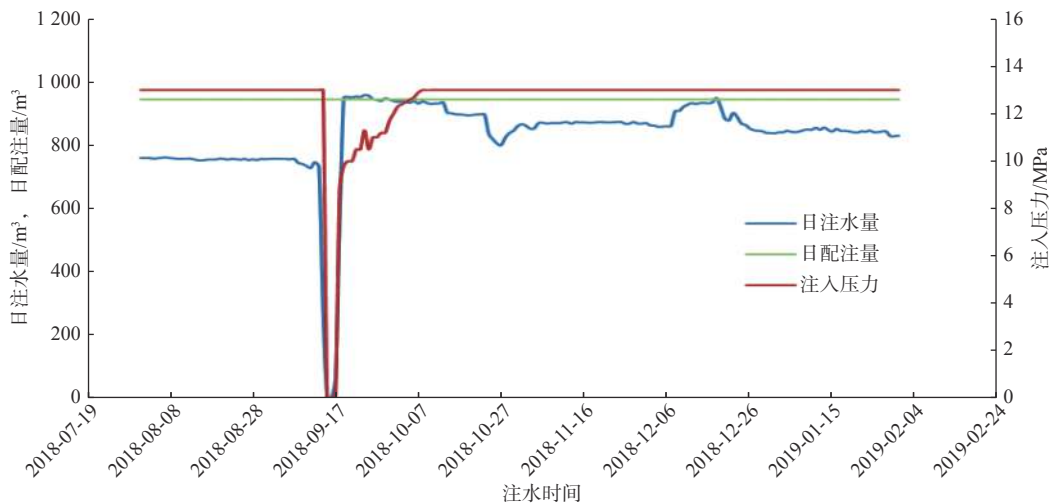


图 6 A 井反洗作业前后的注水动态曲线

Fig.6 Water injection dynamic curves before and after reverse washing in Well A

5 结 论

1) 常规分层注水工艺不具备反洗井功能, 同时测调效率低, 无法解决渤海油田注水开发中因注入

水水质普遍较差易堵塞井筒与近井地带以及测调作业大量占用平台有限空间、影响其他作业等问题。

2) 通过优化注水管柱, 研制不动管柱反洗井封隔器, 同时配套测调一体工具, 形成了渤海油田可反洗测调一体分层注水工艺。

3) 现场应用表明, 渤海油田可反洗测调一体分注工艺测调效率高, 平均单井调配工期仅需 10 h, 同时反洗并取得良好的降压增注效果, 工艺优势明显, 有助于推动该油田高效注水开发。

参 考 文 献

References

- [1] 刘敏. “一投三分” 分层配注及分层测试技术 [J]. 中国海上油气 (工程), 2000, 12(4): 38–39, 45.
LIU Min. Water injection technique for three intervals in one step and separate measuring [J]. China Offshore Oil and Gas (Engineering), 2000, 12(4): 38–39, 45.
- [2] 程心平, 马成晔, 张成富, 等. 海上油田同心多管分注技术的开发与应用 [J]. 中国海上油气, 2008, 20(6): 402–403, 415.
CHENG Xinping, MA Chengye, ZHANG Chengfu, et al. The development and application of concentric multi-barrel separated water injection technology for offshore oilfield [J]. China Offshore Oil and Gas, 2008, 20(6): 402–403, 415.
- [3] 贾庆升. 液控式同心双管分层注水技术 [J]. 石油机械, 2009, 37(5): 59–60, 64.
JIA Qingsheng. Research on the technology of separate layer water injection by concentric double-tubing with hydraulic control packers [J]. China Petroleum Machinery, 2009, 37(5): 59–60, 64.
- [4] 程智远, 翁博, 黄大云, 等. 同心集成分注工艺技术研究与应用 [J]. 西部探矿工程, 2006, 18(3): 78–79.
CHENG Zhiyuan, WENG Bo, HUANG Dayun, et al. Research and application of concentric integrated separation injection technology [J]. West-China Exploration Engineering, 2006, 18(3): 78–79.
- [5] 程心平, 王良杰, 薛德栋. 渤海油田分层注水工艺技术现状与发展趋势 [J]. 海洋石油, 2015, 35(2): 61–65, 81.
CHENG Xinping, WANG Liangjie, XUE Dedong. Current situation and development tendency of separated water injection technology in Bohai Offshore Oilfield [J]. Offshore Oil, 2015, 35(2): 61–65, 81.
- [6] 赵振旺, 王春耘, 赵梅庆. 分层注水定量配水工艺技术研究与应用 [J]. 石油钻采工艺, 2000, 22(4): 63–65.
ZHAO Zhenwang, WANG Chunyun, ZHAO Meiqing. Research and application of separate layer water injection and quantification injection allocation [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2000, 22(4): 63–65.
- [7] 丁晓芳, 张一羽, 刘海涛, 等. 双管分层注水工艺技术的研究与应用 [J]. 石油机械, 2009, 37(10): 50–51.
DING Xiaofang, ZHANG Yiyu, LIU Haitao, et al. Research and application of the dual-string separate-layer water injection technology [J]. China Petroleum Machinery, 2009, 37(10): 50–51.
- [8] 王立革, 杨万有, 罗昌华, 等. 海上油田防砂完井注水井反洗工艺及配套工具 [J]. 石油机械, 2013, 41(5): 36–39.
WANG Liping, YANG Wanyou, LUO Changhua, et al. Backwash technology and matching tool for sand control completion water injection well in offshore oilfield [J]. China Petroleum Machinery, 2013, 41(5): 36–39.
- [9] 吉洋, 刘敏, 王立革, 等. 海上油田分层注水反洗井技术研究与应 [J]. 中国海上油气, 2015, 27(2): 87–92.
JI Yang, LIU Min, WANG Liping, et al. Research and application of intergrated technology for zonal injection and backwashing in offshore oilfields [J]. China Offshore Oil and Gas, 2015, 27(2): 87–92.
- [10] 李常友, 刘明慧, 贾兆军, 等. 液控式分层注水工艺技术 [J]. 石油机械, 2008, 36(9): 102–104.
LI Changyou, LIU Minghui, JIA Zhaojun, et al. Technology of hydraulic control stratified waterflooding [J]. China Petroleum Machinery, 2008, 36(9): 102–104.
- [11] 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.
- [12] 范锡彦, 于鑫, 杨洪源, 等. 分层注水井分层流量及验封测试技术 [J]. 石油机械, 2007, 35(10): 64–65.
FAN Xiyang, YU Xin, YANG Hongyuan, et al. Layered flow rate and sealing testing technology in layered water injection wells [J]. China Petroleum Machinery, 2007, 35(10): 64–65.
- [13] 李常友. 胜利油田测调一体化分层注水工艺技术新进展 [J]. 石油机械, 2015, 43(6): 66–70.
LI Changyou. New development of measurement and regulation integrated separate layer water injection technology in Shengli Oilfield [J]. China Petroleum Machinery, 2015, 43(6): 66–70.
- [14] 董文军, 胡长城, 刘青松, 等. 防聚合物返吐分层注水新技术 [J]. 石油机械, 2004, 32(7): 49–50.
DONG Wenjun, HU Changcheng, LIU Qingsong, et al. New technology of layered water injection to prevent polymer return [J]. China Petroleum Machinery, 2004, 32(7): 49–50.
- [15] 刘永胜. 注水井分层智能联动调配系统 [J]. 石油仪器, 2007, 21(1): 62–63.
LIU Yongsheng. Intelligent linkage adjusting system for separate injection well [J]. Petroleum Instruments, 2007, 21(1): 62–63.
- [16] 刘红兰. 分层注水井测调一体化新技术 [J]. 石油钻探技术, 2018, 46(1): 83–89.
LIU Honglan. A new integrated measuring and adjusting technology of separate layer water injection well [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2018, 46(1): 83–89.

[编辑 令文学]