

# 中东地区 GA 井实时监测完井工艺技术

陈建旭

中国石油集团长城钻探工程公司测试公司 北京 100101

通讯作者:Email:cjx.gwde@cnpc.com.cn

项目支持:中国石油集团长城钻探工程公司重大技术攻关项目“海外复杂油气井测试工艺技术研究及应用”(GWDC201802-05)

引用:陈建旭. 中东地区 GA 井实时监测完井工艺技术[J]. 油气井测试, 2019, 28(4): 27-31.

Cite: CHEN Jianxu. Real-time monitoring and completion technology for Well GA in Middle East[J]. Well Testing, 2019, 28(4): 27-31.

**摘要** 为实时监测中东地区 GA 井存在生产层流体情况,提出一种常规完井和实时监测相结合的完井方案,可在生产过程中将两个生产层适时分采和合采。通过打开和关闭生产层滑套和投捞堵塞器,实现对目的层逐层和两层合并测试,分别取得地层压力、流体温度等数据及两个产层流体样品,与实时监测数据进行对比,两套数据基本吻合,其中压力平均相差 0.01 MPa,温度平均相差 0.5 °C。该工艺验证了实时监测技术与完井工艺结合的适用性,为制定油田开发方案和增产措施提供了可靠依据。

**关键词** 完井; 实时监测; 滑套; 投捞堵塞器; 分层合采; 逐层测试

**中图分类号**: TE353      **文献标识码**: B      **DOI**: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2019.04.005

## Real-time monitoring and completion technology for Well GA in Middle East

CHEN Jianxu

Testing Branch, Great Wall Drilling Corporation, Beijing 100101, China

**Abstract:** In order to monitor the fluids of production zone in real time in Well GA in the Middle East region, a completion scheme which combines conventional completion with real-time monitoring was introduced in this paper, which can realize the separate production and commingled production for the two production layers in time during the production process. The target layer was tested together or layer by layer by opening and closing production slipper and fishing plug, and the data of formation pressure, fluid temperature and two production layer fluid samples were obtained respectively. By compared with the real-time monitoring data, it was found that the two sets of data basically coincide with each other. The average differences of pressure and temperature was 0.01 MPa and 0.5 °C respectively. The process validates the applicability of the combination of real-time monitoring technology and completion technology, and provides a reliable basis for formulating oilfield development plan and stimulation measures

**Keywords:** completion; real-time monitoring; slipper; fishing plug; layered commingled production; layer-by-layer testing

完井是油田开发工程中的重要环节<sup>[1-2]</sup>。完井设计水平的高低和完井施工质量的优劣对油井生产能否达到预期指标和油田开发的经济效益有决定性的影响。它是油气井投产前最后一道工序,油藏开发方案和采油工艺方案需要通过完井作业来实施,合理设计完井作业是降低油田开发投资和提高开发效果有效途径,与将来采油、注水及整个油气田的开发紧密相连<sup>[3-4]</sup>。而油井完井质量的好坏直接影响到油井的生产能力和经济寿命,甚至关系到整个油田能否得到合理的开发。按照完井方式,选择应考虑的因素及原则,结合出砂预测结果和油藏对产能的要求,其关键措施是以测试技术参数作

为参考,研究和提出合适的完井方式<sup>[5]</sup>。

目前,国外完井技术主要包括常规井完井技术、水平井完井技术、小井眼完井技术、深井超深井完井技术、欠平衡完井技术、膨胀管完井技术和智能完井技术<sup>[6]</sup>。国内完井技术是在引进和学习国外完井技术的基础上,结合油藏和地层性质,形成的常规完井技术。但是,在技术提升上还有很大空间。近年来,国际油价推动勘探开发活动的增加,未来非常规完井作业,加之能源节约型技术、效率型技术,将继续成为关注的焦点<sup>[7-8]</sup>。而智能完井作为一种新型的完井技术,在优化生产效率和提高油气采收率方面具有巨大的潜力。针对油田生产

成本高,无法及时发现生产中出现的问題,贾振甲<sup>[9]</sup>、侯培培等<sup>[10]</sup>提出使用电缆永置式井下监测技术和光纤永置式井下监测技术。在四川地区的油田、胜利油田等油田使用,认为永置式井下监测技术可以为油气田生产准确了解和掌握油气藏动态,合理制定生产管理制度,防止过早出水、出砂提供帮助,并最终提高油气藏采收率。

中东地区 GA 井的油藏埋深 3 000~3 300 m,地层温度 167~169 ℃,生产层压力在 26.8~27.1 MPa,最大井斜 61.5°。此井为新开发井,采用 244.6 mm 生产套管和 114.3 mm 生产油管,完井工具与 114.3 mm 油管连接下入井中,完井管柱直接与产液接触,为保证完井工具寿命,完井工具全部采用防腐材料,并且经过了表面处理<sup>[11]</sup>。考虑到采油后期可能会使用酸化等增产措施,对完井设计方面要求较高,因此完井方式采用了常规完井和永置式实时监测相结合,在生产过程中可以将两个生产层灵活地分采和合采,在增产措施作业过程中,两个生产层不会相互影响<sup>[12-13]</sup>。这样,充分体现了生产和常规作业的可控性。完井管柱可以最大限度地保护储集层,防止对储集层造成伤害;用于隔离不同的生产层,保证油水不窜层;可以为未来实施注水、压裂、酸化等增产措施提供便利;用于保证油井可以长期稳定的生产。井下压力计可实时监测井下温度和压力,并把信息传送到地面进行存储<sup>[14-16]</sup>。

## 1 完井工艺介绍

进行现场施工首先需要了解现场情况(包括油藏情况和前期作业情况)、工艺适用的可行性,根据现场具体安排,设计完井管柱结构,提供配套工具。

### 1.1 完井管柱结构

中东地区 GA 井的完井管柱结构如图 1 所示,主要由油管挂、井下安全阀、压力计芯轴、滑套、液压坐封封隔器、滑套、冲蚀管、液压坐封封隔器、NO-GO 座落短节和球座组成。

### 1.2 施工过程及工艺

完井工具连接油管扣型为 114.3 mm VAM TOP,扭矩规定在 4 800~5 800 N·m。

在地面对工具进行完好性和功能性检查,确认工艺实施步骤,规范完井工艺施工流程<sup>[17-18]</sup>,最大限度地保证施工效率,降低安全风险,确保顺利实施完井工艺。

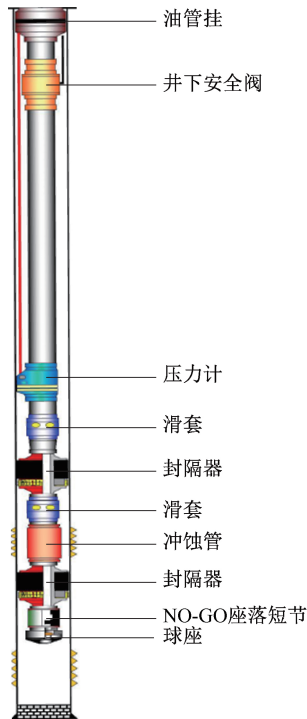


图 1 完井管柱结构示意图

Fig.1 Structure diagram of completion string

根据工具的作用和完井管柱的设计,滑套在下井前需关闭状态。封隔器起始坐封压力为 12.4 MPa,下井前检查封隔器坐封和解封销钉、胶筒和卡瓦均是否完好,卡瓦是否活动自如等;检查压力计功能测试是否正常、压力计管线是否完整无破损。

根据完井管柱设计,下入 NO-GO 座落短节、封隔器和滑套,下入速度不超过 50 s/根,避免影响坐封销钉;把压力计托筒连接在管柱上,把压力计管线连接在压力计上,对管线接头试压 34.5 MPa,试压时间 15 min,把压力计安装在压力计托筒上,测试管线的绝缘性,下入管柱时,每 10 根油管检测一次井下压力和温度。下入管柱时要注意保护管线不要被损坏,下入速度不超过 50 s/根,再下入 10 根油管后停止下入,下入油管过程中要按要求对油管进行试压检查。

用钢丝下入 96.8 mm N 型测试工具至 NO-GO 座落短节,当到位后用固井泵打压 3.45 MPa,保持压力 10 min,压力不降则说明管柱无漏点,打压时要注意缓慢提高压力,避免提前坐封封隔器。连接并下入管柱至井下安全阀,对井下安全阀进行开关测试,连接控制管线,打压 34.5 MPa,保持 10 min,如果压力不降,则把压力降到 20.7 MPa,保持井下安全阀处于打开状态下入管柱。

当所有完井工具到达设计深度,坐入和试压油

管挂,用钢丝下入通井规通井,并测量记录 NO-GO 座落短节座落节点的位置。投球至球座,并向管柱缓慢打压 3.45 MPa,关闭井下安全阀,保持压力 10 min。通过压力计观察油管压力,若无压降,则通过油管在井下安全阀上部打压 3.45 MPa,平衡井下安全阀上下压差,打开井下安全阀,继续打压坐封封隔器,坐封成功后,释放油管压力,环空打压测试封隔器是否坐封完全,释放环空压力,从油管内打压,剪切掉球座。

### 1.3 完井工具介绍

该工艺的主要完井工具包括井下安全阀、偏心压力计托筒、滑套和封隔器等。

#### 1.3.1 114.3 mm 井下安全阀

井下安全阀安装在油气井中,常用于紧急关闭井下流体通道,防止井喷,是保证油气井生产安全的重要井下工具<sup>[19-20]</sup>。此种安全阀可由油管携带下入井中,安全阀与工作筒制成一体,兼有二次安全阀的功能。即如果安全阀失去作用时,可通过钢丝作业方法,使其处于常开状态,再下入相应尺寸的钢丝可回收安全阀,使其再次工作。井下安全阀的结构如图 2 所示,其主要由控制管线接口、活塞、弹簧、活塞接头、弹簧和阀板等组成。

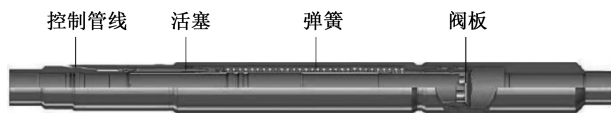


图 2 井下安全阀结构示意图

Fig.2 Structure diagram of underground safety valve

井下安全阀的工作原理如下:安全阀可从地面打压,压力通过控制管线传到活塞处,失去活塞向下移动,并压缩弹簧,使阀板打开。保持控制管线中的压力可使安全阀处于打开位置,释放控制管线中的压力,弹簧张力作用在活塞上,使活塞上移,阀板处于关闭状态。

#### 1.3.2 114.3 mm 偏心压力计托筒

偏心压力计托筒是井下压力计的载体,是一个偏心工作筒,工作筒有一个凹槽,在凹槽内有一个传压孔<sup>[21]</sup>。压力计安装在工作筒的凹槽内,压力计的传感器对着托筒的传压孔,并且通过 AUTO-CLAVE 扣连接。密封方式为金属对金属密封,这样,就可以实现油套管内压力和温度的测量。当然,在安装和下入井中时,要注意保护电缆不会磨损和刮伤。

#### 1.3.3 139.7 mm 滑套

滑套是用来提供油管和环空之间的流动通道,

可以在完井后诱喷、循环压井、气举、多油层井分层生产、多油层井分层测试或增产措施、多层混采、下入堵塞器关井或油管试压等<sup>[22]</sup>。

滑套主要结构包括上接头、密封、内套管和下接头等(图 3)。工作原理:滑套的开关是通过钢丝下入滑套开关工具震击内套管来关闭和连通油套环空间<sup>[23]</sup>。当内套管的孔道对着滑套本体的通道时,滑套处于打开状态;当两者错开,滑套关闭。滑套上部有工作筒,用于固定和滑套配套的井下流动控制装置(如堵塞器),内套管上下各有一个密封短面,可与井下装置的密封盘根配合起到密封作用。

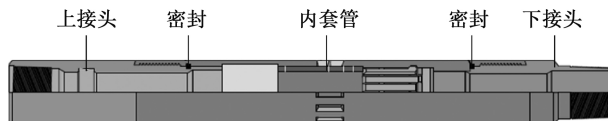


图 3 滑套结构示意图

Fig.3 Structure sketch of slide sleeve

#### 1.3.4 Y441 封隔器

Y441 封隔器是完井管柱中重要的井下工具之一,其功能主要用于分隔生产层段,防止层间流体和压力串通干扰<sup>[24-25]</sup>。可用于分隔压井液和生产液,满足生产过程和修井过程中的各种要求;可用于保留封隔液,保护套管和安全生产的作用。

封隔器结构如图 4 所示,其结构主要包含上接头、卡瓦、胶筒和下接头。在封隔器以下的球座上投入钢球(堵塞器),从油管内打压,当油管压力与环空压力达到一定差值时,剪断坐封销钉、活塞向下移动,推动锥形体、密封件、内卡瓦等部件,使卡瓦张开咬住套管壁、密封件受压缩径向膨胀,密封环形空间,内卡瓦与心轴棘齿锁住,使活塞在油管压力释放时不能复位,保持坐封状态。

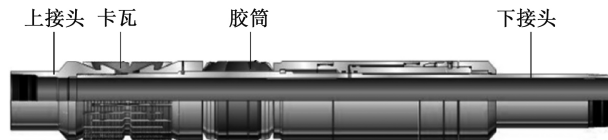


图 4 封隔器结构示意图

Fig.4 Structure diagram of packer

### 1.4 应用效果

在生产一段时间后,通过开关滑套和投捞堵塞器,分别对两个生产层及同时对两个生产层进行压力和温度的测试,通过钢丝作业打开下部滑套,再下入堵塞器,可以测试上部油层;通过钢丝作业打捞出堵塞器,关闭下部滑套,可以测试下部油层;通过钢丝作业打开下部滑套,不下入堵塞器,可以同时测试上部和下部生产层。

通过钢丝作业分别对上部生产层、下部生产层及两个生产层同时测试,得到压力和温度数据,与井下实时监测系统的数据对比,两套数据基本一致,其中压力平均相差 0.01 MPa,温度平均相差 0.5 ℃(表 1)。

表 1 压力温度监测对比表

Table 1 Comparisons of pressure and temperature monitored

测试生产层	钢丝压力计		井下实时监测系统	
	压力/MPa	温度/℃	压力/MPa	温度/℃
上部油层	26.86	167.8	26.85	168.1
下部油层	27.03	167.7	27.03	168.2
两层平均	26.93	167.5	26.92	168.0

2 结论

(1)井下实时监测完井工艺技术适用于两层或多层生产层,并且需要进一步进行增产措施的生产井,通过该方案,完井管柱可以最大限度地保护储集层,防止对储集层造成伤害。本方案通过井下压力计来实时监测井下温度和压力,可以实现对井下温度和压力进行实时监控和存储,且该完井工艺方案可用于隔离不同的生产层,保证油水不窜层,对未来实施注水、压裂、酸化等增产措施具有重要意义。

(2)上部封隔器可以保护套管,可以实现油套洗井作业,隔离生产层,减少污染。上部滑套打开时可用于循环洗井,在生产时关闭。下部滑套打开时用于生产、测试或增产作业。冲蚀管是一种厚壁油管,所在深度与产层深度一致,用于减少生产时流体对滑套等其它井下工具的冲蚀。

(3)下部完井封隔器用于分隔生产层,内有工作筒,可以与其它配套密封工具配合,用于测试或增产措施中分层作业,也可用于分层开采。

(4)完井工具与实时监测技术的结合,实现了井下压力、温度监测和流量控制,为提高油藏经营管理水平提供了一条崭新的途径。

(5)国内在完井方面还存在不足,在一定程度上制约了钻井新技术的发展,也影响了我国油气资源的经济有效开发。近年来为提高完井工艺水平,还需学习了大量先进的国内外完井技术,积极应用在各大油田中。

致谢:感谢所有完井项目人员的辛苦付出;感谢张显文老师等人在论文选题和论文修改中提出的宝贵意见。

参考文献

[1] 万仁溥,熊友明. 现代完井工程[M]. 第 3 版. 北京:石

油工业出版社,2008:1-2.

[2] 张钧,余克让. 海上油气田完井手册[M]. 北京:石油工业出版社,1998:1-3.

[3] 钟晓瑜. 气井完井技术探讨[J]. 钻采工艺,2000,23(2):14-16.

ZHONG Xiaoyu. Study on gas well completion technology [J]. Drilling & Production Technology, 2000,23(2):14-16.

[4] 董恩环,阮延年. 进一步搞好完井设计 提高油田开采水平[J]. 中国海上油气(工程),1999,11(6):1-5.

DONG Enhuan, RUAN Yannian. Improving well completion for higher standard of field development and production [J]. China Offshore Oil and Gas (Engineering), 1999,11(6):1-5.

[5] 尹邦堂,李相方,杜辉,等. 油气完井测试工艺优化设计方法[J]. 石油学报,2011,32(6):1072-1077.

YIN Bangtang, LI Xiangfang, DU Hui, et al. An optimization design for the well completion test technology [J]. Acta Petrolei Sinica, 2011,32(6):1072-1077.

[6] 袁进平,齐奉忠. 国内完井技术现状及研究方向建议[J]. 钻采工艺,2007,30(3):3-6.

YUAN Jinping, QI Fengzhong. Status quo and research direction of well completion technology in China [J]. Drilling & Production Technology, 2007,30(3):3-6.

[7] 汪海阁,刘岩生,王灵碧. 国外钻、完井技术新进展与发展趋势( I ) [J]. 石油科技论坛,2013,32(5):36-42.

WANG Haige, LIU Yansheng, WANG Lingbi. New progress and development trend of overseas drilling and completion technology ( I ) [J]. Oil Forum, 2013, 32(5):36-42.

[8] 张星,李兆敏,徐林静,等. 含硫化氢油气井完井工艺技术现状与发展趋势[J]. 特种油气藏,2010,17(1):12-14,19.

ZHANG Xing, LI Zhaomin, XU Linjing, et al. Present status and development trend of completion technique for H<sub>2</sub>S-bearing oil and gas well [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2010,17(1):12-14,19.

[9] 贾振甲,孙达,李方宇,等. 致密油储层试油分布式光纤传感监测技术[J]. 油气井测试,2018,27(3):58-65.

JIA Zhenjia, SUN Da, LI Fangyu, et al. Monitoring technique involving distributed optical fiber sensor for well testing in tight oil reservoirs [J]. Well Testing, 2018,27(3):58-65.

[10] 侯培培,唐庚,钟海峰,等. 智能完井监测技术的发展及应用[A]. 西安石油大学、陕西省石油学会. 油气藏监测与管理国际会议论文集[C]. 西安石油大学、陕西省石油学会,2011:9.

HOU Peipei, TANG Geng, ZHONG Haifeng, et al. Development and application of intelligent completion monitoring technology [C]. Xi'an Shiyou University, Shaanxi Petroleum Society, 2011:9.

[11] 何汉平,吴俊霞,黄健林,等. 伊朗雅达油田完井工艺[J]. 石油钻采工艺,2012,34(4):26-30.

- HE Hanping, WU Junxia, HUANG Jianlin, et al. Well completion technique in Yada field in IRAN [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2012,34(4):26-30.
- [12] 付建伟,肖立志,张元中. 油气井永久性光纤传感器的应用及其进展[J]. 地球物理学进展, 2004,19(3):515-523.
- FU Jianwei, XIAO Lizhi, ZHANG Yuanzhong. Progress of permanent fiber-optic sensor applications to oil and gas well [J]. Progress in Geophysics, 2004,19(3):515-523.
- [13] 刘东升,徐国民,孙喜寿. 光纤传感器在油气生产中的应用[J]. 石油机械, 2006,34(4):79-81.
- LIU Dongsheng, XU Guomin, SUN Xishou. Application of fiber-optic sensor in oil and gas well [J]. China Petroleum Machinery, 2006,34(4):79-81.
- [14] 赵业卫,姜汉桥. 油井高温光纤监测新技术及应用[J]. 钻采工艺,2007,30(5):158-160.
- ZHAO Yewei, JIANG Hanqiao. Oil well HT optical fiber monitoring technique and its application [J]. Drilling & Production Technology, 2007,30(5):158-160.
- [15] 于伟强,刘均荣,左翊寅,等. 永久式井下压力计数据生产阶段识别方法 [J]. 油气井测试, 2018, 27(2):14-21.
- YU Weiqiang, LIU Junrong, ZUO Yiyin, et al. Identification of production stages based on data from permanent downhole pressure gauge [J]. Well Testing, 2018, 27(2):14-21.
- [16] 陈安明,张辉,宋占伟. 页岩气水平井钻完井关键技术分析[J]. 石油天然气学报,2012,34(11):98-103.
- CHEN Anming, ZHANG Hui, SONG Zhanwei. The key technology analysis of horizontal well drilling for shale gas [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2012,34(11):98-103.
- [17] 侯倩. 深水完井技术进展及发展趋势[J]. 辽宁化工, 2014,43(7):899-901.
- HOU Qian. Progress and development trend of well completion technology in deep water [J]. Liaoning Chemical Industry, 2014,43(7):899-901.
- [18] 郑凯,李明,刘小利,等. 多分支井固井完井技术研究进展[J]. 钻采工艺,2013,36(6):36-38,50.
- ZHENG Kai, LI Ming, LIU Xiaoli, et al. Research progress of cementing and completion technology of multi-branch well [J]. Drilling & Production Technology, 2013,36(6):36-38,50.
- [19] 牛贵锋,杨万有. 高温高压井下安全阀阀板优化研究[J]. 石油矿场机械,2017,46(2):11-16.
- NIU Guifeng, YANG Wanyou. Optimization of valve plate of high temperature and high pressure downhole safety valve [J]. Oil Field Equipment, 2017,46(2):11-16.
- [20] 胡忠太,魏宝明. 海上某井钢丝落井事故分析[J]. 油气井测试,2015,24(6):55-56,59.
- HU Zhongtai, WEI Baoming. Analysis of Fishing Accident of Steel Wire for One Well on Offshore [J]. Well Testing, 2015,24(6):55-56,59.
- [21] 田玉琛,谢平,陈磊,等. 偏心压力计托筒及投捞工艺的设计[J]. 仪器仪表与分析监测,2009(4):30-32.
- TIAN Yuchen, XIE Ping, CHEN Lei, et al. The design of tube structure in bias manometer and retrievable technology [J]. Instrumentation Analysis Monitoring, 2009(4):30-32.
- [22] 胡忠太. 利用高扩张滑套开关工具关闭投球压裂滑套[J]. 油气井测试,2018,27(6):68-72.
- HU Zhongtai. Closing the ball actuated fracturing sleeve with highly expanded sleeve switch tool [J]. Well Testing, 2018,27(6):68-72.
- [23] 赵崇镇. 机械式滑套开关多级找堵水技术研究与应用[J]. 石油机械,2016,44(5):90-93.
- ZHAO Chongzhen. Mechanical sleeve switch for multistage water layer finding and plugging [J]. China Petroleum Machinery. 2016,44(5):90-93.
- [24] 张志朋. 新型 Y441 封隔器的设计与特性分析[D]. 青岛:中国石油大学(华东),2015.
- ZHANG Zhiping. New 441 type packer design and specificity analysis [D]. Qingdao: China university of petroleum (EastChina), 2015.
- [25] 许永权,葛玉波. Y441 型封隔器的研制及在气井完井射孔联作中的应用探讨[J]. 科学技术与工程,2012,12(17):4281-4284.
- XU Yongquan, GE Yubo. The research of new type Y441 packer and field application in completion-perforation combination [J]. Science Technology and Engineering, 2012,12(17):4281-4284.

编辑 刘述忍

第一作者简介:陈建旭,男,1984年出生,工程师,2008年毕业于中国石油大学(华东)机械设计制造及其自动化专业,主要从事测试完井工作。电话:010-59285804,13522427140; Email:cjx.gwde@cnpc.com.cn。通信地址:北京市朝阳区安立路101号名人大厦1718室,邮政编码:100101。