

深水非旋转高效 APR 测试技术

张永涛¹,张俊斌¹,张自印¹,王星²,陈书豪²

1.中海石油(中国)有限公司深圳分公司深水工程技术中心 广东深圳 518054

2.中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司 天津 300459

通讯作者:Email:zhangyt5@cnooc.com.cn

引用:张永涛,张俊斌,张自印,等.深水非旋转高效 APR 测试技术[J]. 油气井测试,2019,28(5):16-20.

Cite: ZHANG Yongtao, ZHANG Junbin, ZHANG Ziyin, et al. Non-rotating and high efficiency APR test technology in deep water [J]. Well Testing, 2019,28(5):16-20.

摘要 在深水井进行测试作业时,旋转坐封测试管柱因平台升沉,封隔器坐封困难,且旋转坐封容易损坏水下树脐带缆,导致井下防喷屏障失效,影响作业安全和时效。采用上下活动管柱坐封的新型非旋转坐封封隔器和井下声波无线遥测式直读压力温度计,优化改进测试管柱设计和操作程序,形成了一套适用于深水的非旋转高效 APR 测试管柱。该测试管柱利用电缆测量地层伽马、套管及钻杆放射性标记校正射孔深度,通过非旋转坐封封隔器和管柱内灌入轻质液垫或留空实现负压射孔,采用管柱内加压或投棒方式点火,在南海东部 X 井现场应用达到了测试目的和取样要求。该管柱设计为深水井提供了一种安全高效的测试技术。

关键词 深水; 测试管柱; 封隔器; 声波无线遥测; 测试效率; 环空压力; 脐带缆; 半潜式平台

中图分类号:TE27 **文献标识码**:B **DOI**:10.19680/j.cnki.1004-4388.2019.05.003

Non-rotating and high efficiency APR test technology in deep water

ZHANG Yongtao¹, ZHANG Junbin¹, ZHANG Ziyin¹, WANG Xing², CHEN Shuhao²

1.Deep-water well engineering & operating center.Shenzhen Branch of CNOOC (China) Co. Ltd, Shenzhen,Guangdong 518067, China

2.Drilling & Production Company, CNOOC Energy Technology & Services Limited, Tianjin 300452, China

Abstract: In order to achieve annular pressure control in deep water well test operation, insert APR test string or rotary set APR test string is generally adopted. Insert APR-type test string operation time is long, the cost is high, and the size of the gun is limited by the packer diameter; Due to the difficulty of packer setting in platform heave, rotary setting test string is prone to damage the umbilical cord cable under water, leading to the failure of downhole blowout barrier and affecting the safety and aging of operation. In order to solve the problem of rotary setting and improve the test efficiency, a new type of non-rotary setting packer and downhole acoustic wireless telemetry direct reading pressure thermometer with up and down movable pipe string setting was introduced after investigation and analysis, and the design and operation procedures of the test pipe string were optimized and improved, Form a set of non-rotating high-efficiency APR test string for deep water. Practice has proved that the improved non-rotating test string reduces the difficulty of setting, solves the problem that the umbilical cord cable is easily damaged by rotating setting, improves the test efficiency, and provides a safe and efficient test string and process for the deep water well.

Keywords: deep water; DST string; packer; acoustic wireless telemetry; test efficiency; annulus pressure; umbilical cord cable; semi-submersible platform

随着南海东部海域勘探程度的不断深入,深水区块构造的评价工作占比越来越大。深水钻井平台测试作为评价深水区块最主要的一种方式,面临的挑战越来越大。

油气井测试是发现油气藏,评价油气产能的最直接手段^[1],深水钻井平台测试管柱一般采用 APR(Annulus Pressure Response)测试管柱,且为应

对台风内波流等恶劣天气,测试管柱必须具备应急解脱功能,一般采用水下测试树总成实现。在深水钻井平台进行测试作业时,为实现负压射孔,APR 测试管柱常采用 RTTS(Retrieveable-Test-Treat-Squeeze)封隔器或者插入型封隔器。由于平台升沉,RTTS 封隔器存在坐封困难的问题,并且旋转坐封方式容易损坏水下测试树控制脐带缆,导致井下

防喷屏障失效,影响作业安全和时效^[2]。插入型测试管柱由于封隔器需单独下入和回收,作业时间长、成本高,且由于射孔枪和部分井下工具尺寸受封隔器内径限制,一定程度上影响测试效率和效果^[3]。

毛军等^[4]介绍了适用于异常压力下不同完井方式对应的测试管柱联作工艺。阚长宾等^[5]介绍了应用隔热管进行深水油气井生产测试的圈闭压力控制技术。李加明等^[6]详细介绍了雅达瓦兰“四高”油气井完井测试工艺。周生福等^[7]对顺北油田三高油气井完井测试封隔器影响因素做了介绍,涉及到 CHAMP 封隔器使用,但未介绍其他品牌的非旋转封隔器。王雪飞等^[8]介绍了交互式井下无线传输试井系统,给出了较好的使用经验说明。韩雄等^[9]对油气井试油作业数字井筒建设实践等进行了详细介绍。但是,上述文献均未对深水测试面临的旋转坐封和时效低的问题提出系统解决方法。为此,迫切需要设计一种新型深水测试管柱。

1 深水 APR 测试管柱

深水钻井平台 APR 测试管柱设计通常要考虑测试要求、温度、压力、井身结构、定向井轨迹、防水合物及平台升沉等因素。在浮动式钻井平台测试时,由于平台升沉而不能采用上提下放式测试管柱,一般采用全通径 APR 测试管柱。APR 测试管柱是一套压控式地层测试工具,在封隔器坐封后,通过施加及释放环空压力完成井下阀门的开关井、循环、取样^[10-13]。

按封隔器坐封形式不同可将深水 APR 测试管柱分为旋转坐封 APR 测试管柱和插入型 APR 测试管柱。

1.1 旋转坐封 APR 测试管柱

目前深水钻井平台旋转坐封 APR 测试管柱自上至下主要包括:流动头、水下测试树、井口悬挂器、伸缩节、放射性接头、压控开关工具(如 RD 循环阀、LPR-N 阀、RD 取样器等)、震击器、RTTS 封隔器、减震器及射孔枪等工具。

该型测试管柱利用电缆测量地层伽马并结合套管和钻杆的定位接头进行射孔校深;旋转坐封 RTTS 封隔器封隔环空,通过钻杆内留空或者垫轻质液垫实现负压射孔;可采用投棒或钻杆内加压点火方式。

压控工具设定有不同激活压力,通过改变环空

压力实现对 LPR-N(Low Pressure Responsive)阀、RD(Rupture Disk)取样器及 RD 循环阀等压控工具的控制,完成井下开关井、取样和循环等功能。

如果采用钻杆内留空方式造负压,RTTS 封隔器与多级开孔装置配合使用可实现环空加压点火^[14-16]。

旋转坐封测试管柱具有管柱简单可靠的优点。但在升沉大时,也容易造成坐封困难和旋转坐封带来的脐带缆损坏问题。

1.2 插入型 APR 测试管柱

插入型 APR 测试管柱是一种成熟可靠的深水测试管柱,需要分两趟下入。第一趟通过电缆或者钻杆下入封隔器(带密封筒),通过电缆精确定位封隔器深度;第二趟下入带插入密封的 APR 测试管柱。插入型 APR 测试管柱自上至下主要包括:流动头、防喷阀(如需要)、水下测试树、井口悬挂器、化学药剂注入阀(如需要)、伸缩节、压控开关工具(如 RD 循环阀、LPR-N 阀、RD 取样器等)、插入定位密封装置、减震器及射孔枪等工具。

插入型 APR 测试管柱主要优点有:①大大降低了旋转管柱带来的脐带缆损坏风险;②拥有良好的密封、耐温、耐压性能,更适用于压裂、酸化等类型作业。缺点是:①下入和回收测试管柱均需分两趟进行,工期长、费用高;②由于射孔枪和部分工具需通过封隔器,工具尺寸受封隔器内通径影响较大。

2 非旋转坐封 APR 测试管柱设计

深水油气井测试具有高风险、高成本、测试周期长等特点。在常规深水测试管柱的基础上,为强化测试管柱安全、简单可靠、高效等特点,通过调研和分析,优选非旋转坐封封隔器、井下声波无线遥测式直读压力温度计等工具,并优化调整了施工程序,最终设计出一套适用于深水测试的非旋转坐封 APR 高效测试管柱。

2.1 非旋转坐封封隔器

为保证原 APR 工具的适用性,该管柱选择 Champ IV 封隔器作为新型非旋转测试管柱的封隔器。该封隔器具备防提前坐封和水力锚的功能,提高了管柱下入和测试过程中的安全性;同时 Champ IV 封隔器拥有最短换位行程,可减少封隔器坐封动作幅度,提高射孔精度。不同的非旋转封隔器参数对比见表 1。

表 1 不同非旋转封隔器参数对比
Table 1 Comparison of parameters of different non-rotating packers

参数	型号		
	Champ IV	Omegamatic	PosiTest
制造商	哈里伯顿	斯伦贝谢	斯伦贝谢
水力锚	有	有	无
防提前坐封	有	有	无
换位行程/cm	5.82	81.30	81.30
旁通机构	有	有	有
一次入井坐封次数	无限次	无限次	无限次

非旋转坐封封隔器设计有 3 个位置(图 1),分别为下井、坐封和起钻位置。它自带限位销钉,确保下钻时坐封机构处于锁定状态,即保持下井位置,防止提前坐封。坐封前通过环空加压打破破裂盘,解锁限位销钉,通过上提下放管柱改变坐封机构位置至坐封位置即可实现坐封、解封。

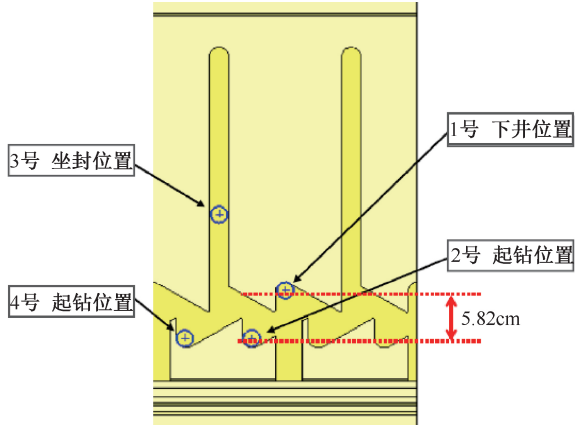


图 1 Champ IV 封隔器坐封机构示意图
Fig.1 Schematic diagram of Champ IV packer seating mechanism

为防止起钻时封隔器因平台升沉坐封解封造成管柱落井,配管时需合理设置伸缩节的位置,应确保伸缩节顶部至非旋转坐封封隔器底端长度应小于转盘面至套管挂上端面距离。

2.2 井下声波无线遥测式直读压力温度计

井下声波无线遥测式直读压力温度计采用声波双向无线传输技术,井下压力温度信号通过中继站传递到地面,也可借助网络实现远距离实时传输,实时了解测试全过程井下流动状态,为工作制度选择、开关井时间等提供准确决策依据,同时提高获取测试样品的准确率,提高测试效率。

矿场应用较多且成熟的井下声波无线遥测压力温度直读设备有 Dynalink®、Muzic® 和 PARAGON® 三种,下面以 PARAGON® 产品为例介

绍其特点^[17-20]。

PARAGON® 系统耐温级别可达 185℃,包括地面计算机、中继站和末端节点。末端节点(井下遥测发射装置、压力温度计和井下高压物性取样仪器)和中继站随测试管柱下入井下。

中继站可以增加声波信号传输距离,一般不超过 300 m 安放 1 个中继站,每个中继站包含 2 个中继器,轮流工作,互为备用,提高设备可靠性。按照中继站位置可分为井下、井口和水中中继站。发射装置发出的压力温度信号通过中继站进行传输,最浅中继站会通过通讯电缆连接至地面接收器,最终完成数据接收和处理(图 2)。

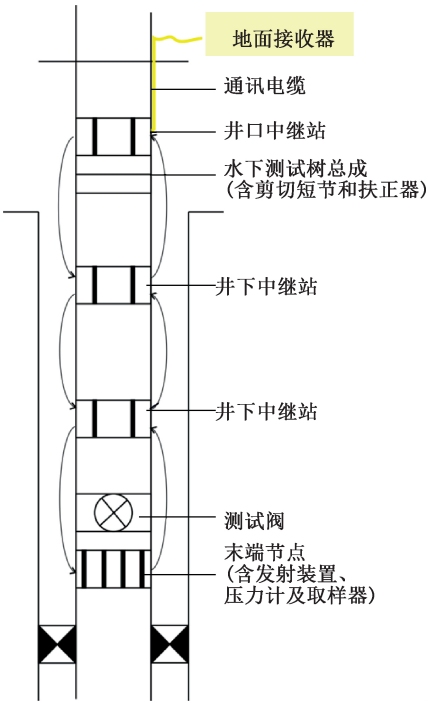


图 2 PARAGON® 声波无线直读技术原理示意图
Fig.2 Principle diagram of PARAGON® sound wave wireless direct reading technology

3 应用案例

为给深水探井使用该测试管柱积累经验,在南海东部 X 井采用非旋转坐封 APR 测试管柱进行测试,X 井水深 139.5 m,使用半潜式钻井平台作业,完钻井深 4 030 m,井底温度 155.4℃,计划测试 1 层,测试液为海水,使用柴油液垫造负压。

3.1 现场施工步骤

(1) 组合下入新型非旋转 APR 测试管柱(图 3),按设计下入中继站,分别在测试管柱入井、下入一半钻具及灌满柴油后,对测试管柱进行试压。

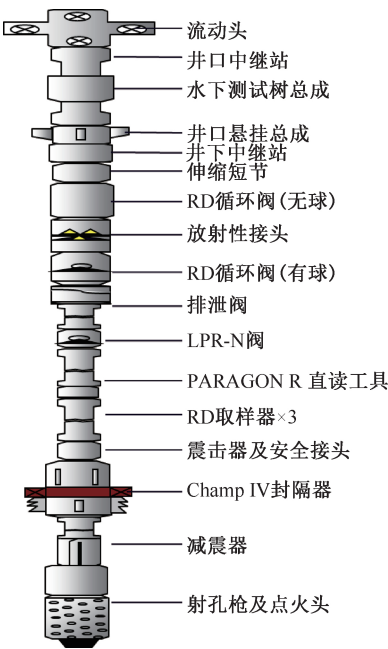


图 3 非旋转坐封 APR 测试管柱结构示意图
Fig.3 Structural schematic diagram of APR test string with non-rotating seals

(2) 电缆校深, 调整测试管柱, 环空打压解锁限位销钉, 上提下放坐封封隔器, 验封合格, 第二次电缆校深, 误差满足要求。

(3) 连接地面流动头, 点火, 开井求产, 根据直读数据辅助决策关井、取样。

(4) 开 RD 循环阀, 压井作业。

(5) 起测试管柱。

3.2 现场作业效果

该井使用新型非旋转坐封 APR 测试管柱成功达到了测试目的和取样要求, 提高了测试效率, 验证了该管柱的技术可行性(图 4)。

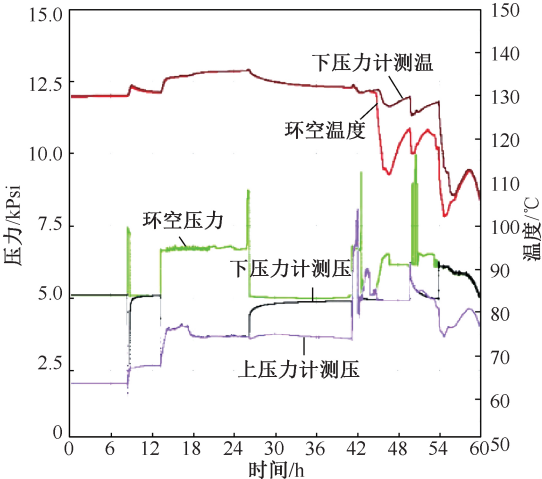


图 4 南海东部 X 井测试曲线
Fig.4 Testing curves of Well X in the eastern South China Sea

4 结论

(1) 新型测试管柱使用上提下放管柱坐封封隔器, 解决了旋转坐封带来的坐封困难和脐带缆损坏难题; 相比插入式管柱, 单井可节约作业时间 20 h。

(2) 相比电缆下入式直读压力温度计, 声波无线遥测式井下直读压力温度计可辅助决策以减少关井时间, 本井减少关井时间约 12 h。在深井中, 可通过井下压力温度变化, 辅助判断是否射孔。

(3) 选用非旋转坐封封隔器可无限次坐封, 在起钻过程中有重复坐封、解封现象, 后续可研制增加起钻期间防坐封功能, 保障起钻安全。

(4) 经过现场试验, 非旋转坐封封隔器稳定可靠, 结合声波无线遥测式直读压力温度计辅助决策工作制度和开关井时间等, 大幅提高了测试效率, 为深水井提供了一种安全高效的测试管柱和工艺。

致谢: 感谢深圳分公司深水工程技术中心同意本论文公开发表。

参考文献

[1] 张兴华, 周新宇, 杨子, 等. APR 测试工艺在压裂测试井中的技术创新[J]. 油气井测试, 2018, 27(5): 13-18.
ZHANG Xinghua, ZHOU Xinyu, YANG Zi, et al. Technical innovation of APR testing technology in fracturing test wells [J]. Well Testing, 2018, 27(5): 13-18.

[2] 高科超, 杨子, 尚锁贵, 等. 新型非旋转封隔器在探井测试中的研究与应用[J]. 钻采工艺, 2017, 40(1): 115-117.
GAO Kechao, YANG Zi, SHANG Suogui, et al. Research and application of new non-rotating packer in exploratory well testing [J]. Drilling & Production Technology, 2017, 40(1): 115-117.

[3] 李三喜, 冯大龙, 黄伟, 等. 一种安全高效的多功能测试管柱[J]. 钻采工艺, 2019, 42(2): 128-130.
LI Sanxi, FENG Dalong, HUANG Wei, et al. A safe and efficient multifunctional drill test string [J]. Drilling & Production Technology, 2019, 42(2): 128-130.

[4] 毛军, 张同义, 毛庆, 等. APR 完井测试技术在异常压力储层测试策略分析[J]. 石油钻采工艺, 2014, 36(3): 52-55.
MAO Jun, ZHANG Tongyi, MAO Qing, et al. Pilot application of APR completion testing technology in abnormal pressure reservoir [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2014, 36(3): 52-55.

[5] 阚长宾, 杨进, 于晓聪, 等. 深水高温高压井隔热测试管柱技术[J]. 石油钻采工艺, 2016, 38(6): 796-800.
KAN Changbin, YANG Jin, YU Xiacong, et al. Heat-insulated testing string technology for deepwater HTHP wells

- [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2016, 38(6): 796-800.
- [6] 李加明, 黄天朋, 金强. 雅达瓦兰油田“四高”油气井完井测试工艺技术[J]. 油气井测试, 2019, 28(1): 25-31.
LI Jiaming, HUANG Tianpeng, JIN Qiang. Completion test technology for "four-high" wells in Yadavaran Oilfield [J]. Well Testing, 2019, 28(1): 25-31.
- [7] 周生福, 崔龙兵, 刘练, 等. 顺北油田三高油气井完井测试封隔器影响因素及对策[J]. 油气井测试, 2019, 28(3): 37-41.
ZHOU Shengfu, CUI Longbing, LIU Lian, et al. Influencing factors of completion test packer and countermeasure for 3-high oil and gas well in Shunbei Oilfield [J]. Well Testing, 2019, 28(3): 37-41.
- [8] 王雪飞, 谭忠健, 翟洪君, 等. 海上探井测试交互式试井技术[J]. 油气井测试, 2019, 28(1): 32-37.
WANG Xuefei, TAN Zhongjian, ZHAI Hongjun, et al. Interactive well test technology for offshore exploration wells [J]. Well Testing, 2019, 28(1): 32-37.
- [9] 韩雄, 庞东晓, 王峰. 油气井试油作业数字井筒建设实践[J]. 油气井测试, 2018, 27(2): 34-40.
HAN Xiong, PANG Dongxiao, WANG Feng. Construction of digital wellbore for well testing [J]. Well Testing, 2018, 27(2): 34-40.
- [10] 张晓涛. 深水完井测试管柱结构设计[D]. 东营: 中国石油大学(华东), 2010.
ZHANG Xiaotao. The structure design of well completion test string in deep water [D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2010.
- [11] 赵启彬, 刘振江, 王尔钧. 海上高温高压井测试工艺优化研究[J]. 钻采工艺, 2015, 38(1): 32-34.
ZHAO Qibin, LIU Zhenjiang, WANG Erjun. Improvement and application of offshore HPHT well testing technology [J]. Drilling & Production Technology, 2015, 38(1): 32-34.
- [12] 董星亮. 南海西部高温高压井测试技术现状及展望[J]. 石油钻采工艺, 2016, 38(6): 723-729, 736.
DONG Xingliang. Status and prospect of testing technologies for HTHP wells in Western South China Sea [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2016, 38(6): 723-729, 736.
- [13] 刘康, 陈国明, 畅元江, 等. 深水测试管柱密封插管长度确定方法[J]. 石油机械, 2015, 43(9): 42-46.
LIU Kang, CHEN Guoming, CHANG Yuanjiang, et al. A method for determining safe length of seal intubation in deepwater test string [J]. China Petroleum Machinery, 2015, 43(9): 42-46.
- [14] 曾春珉, 韦龙贵, 黄亮, 等. 超长跨距多点起爆负压射孔技术在海上油田的应用[J]. 石油钻采工艺, 2016, 38(2): 181-185.
ZENG Chunmin, WEI Longgui, HUANG Liang, et al. Application of negative-pressure perforation technique with multiple igniters over super-long span in offshore oilfields [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2016, 38(2): 181-185.
- [15] 王守君, 谭忠健, 胡小江, 等. 海上复合射孔与地层测试联作工艺技术研究及应用[J]. 中国海上油气, 2013, 25(3): 8-12.
WANG Shoujun, TAN Zhongjian, HU Xiaojiang, et al. An offshore combination technology of composite perforation and formation testing and its application [J]. China Offshore Oil and Gas, 2013, 25(3): 8-12.
- [16] 王芝尧, 刘志英, 王瑀, 等. 一趟管柱实现分层射孔和试油联作的思考[J]. 测井技术, 2014, 38(3): 370-374.
WANG Zhirao, LIU Zhiying, WANG Yu, et al. Realizing combination technology of layered perforating and test by a trip string [J]. Well Logging Technology, 2014, 38(3): 370-374.
- [17] 林炳南, 关利军, 李纪智. 声波无线遥测技术在钻杆地层测试中的应用[C]// 油气田勘探与开发国际会议. 2015.
LIN Bingnan, GUAN Lijun, LI Jizhi. Application of acoustic wireless telemetry technology in the drill stem test [C]// International Field Exploration and Development Conference. 2015.
- [18] 左红军, 焦艳红, 王涛. 无线声波遥测钻杆(中途)测试技术[J]. 石油机械, 2016, 44(5): 22-27.
ZUO Hongjun, JIAO Yanhong, WANG Tao. Acoustic wireless telemetry drill stem test technology [J]. China Petroleum Machinery, 2016, 44(5): 22-27.
- [19] 金泽亮, 房立文, 王荣仁, 等. 电磁直读装置及其应用[J]. 油气井测试, 2007, 16(2): 64-65.
JIN zeliang, FANG Liwen, WANG Rongren, et al. EM-ROD and its application [J]. Well Testing, 2007, 16(2): 64-65.
- [20] 李成, 丁天怀. 油气井测试的井下远程遥测方式分析[J]. 油气井测试, 2005, 14(6): 34-37.
LI Cheng, DING Tianhuai. Analysis of down-hole remote telemetry methods in oil well testing [J]. Well Testing, 2005, 14(6): 34-37.

编辑 刘振庆

第一作者简介: 张永涛, 男, 1987年出生, 工程师, 2009年毕业于中国石油大学(华东)石油工程专业, 主要从事地层测试、完井等方面工作。电话: 0755-26022510, 18127056501; Email: zhangyt5@cnooc.com.cn。通信地址: 广东省深圳市南山区后海滨路(深圳湾段)3168号中海油大厦, 邮政编码: 518054。