

连续油管水平井分段测试技术

屈孝和¹, 李长江¹, 苏茂¹, 袁博阳¹, 负西峰¹, 屈孝云²

1. 西安思坦仪器股份有限公司 陕西西安 710065

2. 岳阳市第一中学 湖南岳阳 414000

通讯作者:Email:1151400721@qq.com

项目支持:新疆油田试油公司工程技术统筹项目“连续管水平井作业技术研究与推广应用”(2015T-005-001)

引用:屈孝和,李长江,苏茂,等. 连续油管水平井分段测试技术[J]. 油气井测试,2021,30(5):68-72.

Cite: QU Xiaohe, LI Changjiang, SU Mao, et al. Segmented testing technology for horizontal wells with coiled tubing [J]. Well Testing, 2021,30(5): 68-72.

摘要 传统分段测试技术采用机械封隔器+工作筒模式,在大斜度井以及水平井等井况施工困难。连续油管水平井分段测试技术采用连续油管下挂电动封隔器+多参数工作筒模式,所有指令均通过地面控制器电动控制。在连续油管推动作用下,一次下入同一支封隔器在不同层位实现电动坐封与解封,工作筒油嘴在不同层位实现开与关,并获得多段油层温度、流量、含水率、压力等参数以及地层恢复压力数据。对金龙 51 井 4 个射孔段分段测试结果进行分析,确定了主产油层为第一层,达到精确评估各段油层的目的。该技术实现了油层精准分采,具有一定的推广价值。

关键词 连续油管; 电动封隔器; 多参数工作筒; 水平井; 分段测试; 油嘴; 地面控制

中图分类号:TE377 文献标识码:B DOI:10.19680/j.cnki.1004-4388.2021.05.012

Segmented testing technology for horizontal wells with coiled tubing

QU Xiaohe¹, LI Changjiang¹, SU Mao¹, YUAN Boyang¹, YUN Xifeng¹, QU Xiaoyun²

1. Xi'an Sitan Instrument Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710065, China

2. No. 1 Middle School of Yueyang, Yueyang, Hunan 414000, China

Abstract: The traditional segmented testing technology adopts mechanical packer and working barrel mode, which is difficult to operate in highly deviated wells and horizontal wells. Coiled tubing horizontal well segmented testing technology adopts coiled tubing coupling electric packer plus multi parameter working cylinder mode, and all commands are electrically controlled by ground controller. Under the promotion of coiled tubing, the same packer can be set and unsealed in different layers at one trip, and the oil nozzle of working barrel can be opened and closed in different layers, and the temperature, flow rate, water cut, pressure and formation build-up pressure of multiple oil layers can be obtained. The technology is tested in four perforating sections of Well Jinlong 51, and the main oil producing layer is determined as the first layer by analyzing the test results, so as to achieve the purpose of accurately evaluating each section of oil layer. This technology realizes the accurate separate production of oil layers and provides technical support for understanding the physical properties of multi-layer and guiding production.

Keywords: coiled tubing; electric packer; multi parameter working cylinder; horizontal well; segmented testing; oil nozzle; ground control

目前,连续油管水平井分段技术主要运用在分段找水和分段压裂中^[1-3]。在分段找水方面,白田增等^[4]通过连续油管底带高温存储式聚能声波及微温差组合测试仪进行测试找水,找出含水段,并判断来水方向。该技术能实现水平段找水,测井速度可调,能实现带压作业和对整个井段进行连续测试。缺点是该技术采用存储式仪器对井下进行分段找水,无法实现实时监测,仪器提出井口之前,无

法获得施工是否成功;另外,测试受电池影响很大,无论是测试可靠性还是测试时间上均与电池有直接关系;测试通过发射与接收聚能声波,通过仪器提出井后分析回放数据,数据可靠性与不同井况对声波的吸收率有很大影响。王子健等^[5]通过连续油管下接开关工具到不同油层,通过机械方式打开或关闭预置在不同油层的滑阀,实现不同层段的分段开采,达到找水堵水目的。该技术缺点是需要预

先在不同层位上安置多个滑阀,施工复杂繁琐。施工时滑阀动作成功率与井内含砂量有极大关联;由于依靠连续油管机械式打开滑阀,因此钩载力受限,并且井下仪无法实现旋转。因此,井下遇阻风险大。而在分段压裂方面,李梅等^[6]、周鹏遥等^[7]、李永平等^[8]采用连续油管通过各种方式下入各级机械式工具,然后逐个分段打开进行压裂。这些方法的缺点是施工时无法直接获得施工作业效果,需要在后续施工中验证,且施工繁琐,成功率低。

陈永昌等^[9]采用油管将封隔器、井下开关和压力计与工具一起下入目的层段,用电缆将井下每层开关和压力计连接到一起,并与地面仪器连接,形成了新型电缆控制分段测试技术。而传统分段测试技术采用机械封隔器加工作筒模式^[10-11]。要想获取一层油层参数,就必须在该油层射孔处附近上下各放置一个机械封隔器,在两个封隔器之间放置一个工作筒,来获得该层位处油层压力、流量、含水、温度,以及恢复压力等参数。要想获得全井段各油层地层参数,就必须下挂数量众多的封隔器和工作筒。这些方法带来施工成本高,下挂仪器多导致仪器密封失效风险加大,施工强度大,在大斜度井以及水平井等井况施工困难等问题。

针对以上情况,提出采用连续油管下挂电动封隔器+多参数工作筒模式,在连续油管的推动作用下实现一次下井同一支封隔器在不同层位实现电动坐封与解封,工作筒油嘴在不同层位实现开与关。该技术能实现一次下井便能获得多段油层温度、流量、含水、压力等参数,以及地层恢复压力,达到精确评估各段油层的目的。该技术所有指令均通过地面控制器电动控制,有效提高施工科技含量,降低施工成本,可为以后油井在主产油层加长钻井作业^[12-14]、在产水层采取封隔堵水^[15]等工艺提供科学依据。

1 分段测试技术

连续油管下挂电动封隔器,即井下仪器与连续油管连接,当仪器下放到测试层时,电动封隔器坐封,油嘴开关打开,进行产液测试。完成测试后,关闭油嘴开关,进行地层恢复压力测试。完成当前层测试工作后,电动封隔器解封,连续油管上提仪器到另一测试层^[16],然后进行封隔器坐封,再进行另一层产液及地层恢复压力测试,即可完成多油层分段测试。仪器产液测试连接顺序如图1所示。

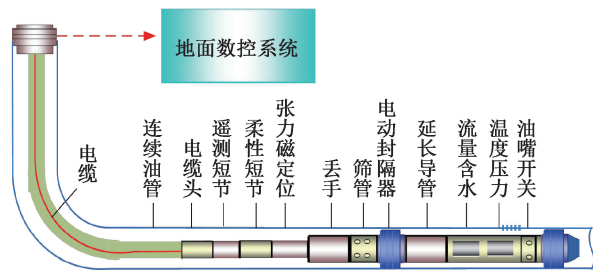


图1 产液测试仪器串连接顺序

Fig.1 Connection sequence of liquid production test instrument string

在进行正式的产液测试之前,需要进行套管井测试,方便了解井下状况。比如了解套管因腐蚀、扭曲等原因导致套管内径缩径等情况,以便分析出该井是否能够将产液测试仪下到预定位置,以及是否能够顺利提出。套管检测仪器连接顺序如图2所示。

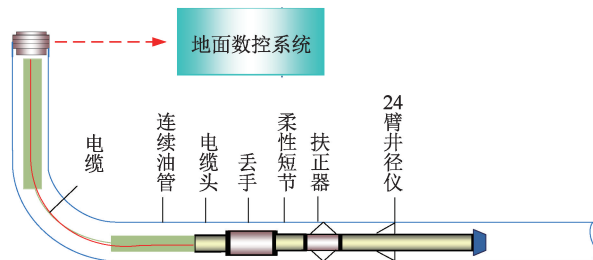


图2 套管测试仪器串连接顺序

Fig.2 Connection sequence of casing test instrument string

1.1 套管检测仪器串各部件功能

(1) 仪器连接顺序。地面控制器+连续油管+电缆头+ $\Phi 43$ mm 丢手+ $\Phi 43$ mm 柔性短接+扶正器+24臂井径仪。

(2) 地面控制器。主要由测井主机(笔记本带软件)、采集单元、数控系统组成。测井主机与采集单元通过100 M以太网进行数据传输和通信;数控系统实现与井下仪器供电,双向通信与控制,采集到的数据在测井主机上进行实时显示。比如油层压力、流量、含水、温度,以及恢复压力等参数,并能通过测井主机发送给封隔器,实现电动坐封、电动解封、工作筒油嘴打开与关闭等功能。

(3) 连续油管。实现仪器下井与上提,并能通过连续油管内置8 mm电缆,实现井下仪器通讯与数据采集等功能。该连续油管能盘在连续油管车上,相对普通油管具有更好的挠性^[17]。

(4) 连续油管电缆头。实现抱紧连续油管并连接下接仪器,同时起到密封电路的功能。抱紧力达到30 t,耐压大于90 MPa。

(5) 丢手。当井下仪器遇阻无法上提或下放

时,上提仪器拉拽力达到剪钉剪断力极限,实现丢手剪钉剪断,连续油管与下接仪器脱开,有效防止连续油管被拉断掉入井中。与相应的打捞工具配套使用,实现井下仪器打捞出井。

(6)柔性短接。为井下仪器提供绕曲度,方便井下仪器从直井段进入水平段,柔性短接弯曲角度可达 16°。

(7)扶正器。在仪器下到水平段时,起到扶正仪器串的作用,保证多臂仪不因为自身重力而重心偏离套管中心,从而保证多臂测量套管参数的可靠性。

(8)24 臂测井仪。采用电感位移传感器和倾角传感器,当套管内壁某处出现变形或者缩径时,24 臂测井仪上的探测臂将会被迫收回或伸出。在上提测井过程中,通过探测臂张开的角度变化,即可得知全井段套管内径的所有参数变化,为是否下直径较大的产液测试仪器提供科学依据。

1.2 产液测试仪器串各部件功能

(1)仪器连接顺序。地面控制器+连续油管+电缆头+遥测短节+柔性短节+张力磁定位+Φ43 mm 丢手+筛管短节+上电动封隔器+多参数工作筒+下电动封隔器。

(2)地面控制器、连续油管、电缆头、柔性短节、Φ43 mm 丢手在产液测试中功能与套管检测类似。

(3)遥测短节。用来控制井下多个仪器通讯,

并把所连接的多个仪器的数据整合,通过数字编码的方式传送到地面控制器。

(4)张力磁定位短节。磁定位采用磁钢和线圈组合,测量节箍感应电动势,通过计数感应电动势数量即可得知井下仪所处位置。

(5)筛管短节。产液测试目标地层井液和主流层井液的混合液从筛管处流出,一起从仪器和套管之间的环空流向井口。

(6)上下电动封隔器。上下封隔器结构完全相同,只是上封隔器接在多参数工作筒上端,而下封隔器接在多参数工作筒下端。当两个封隔器均坐封后,即实现多参数工作筒油嘴处与其它地层的隔离,其它地层的井液无法流到工作筒的油嘴处,实现屏蔽功能,达到分段测试的目的。通过分析每层井液的流量、含水、压力等参数,即可找到主产油层和产水层,为油井开发提供科学指导。

电动封隔器主要由坐封装置,电动解封装置,上提解封装置,胶筒组件,过流通道,控制电路等构成(图 3)。其技术参数见表 1。

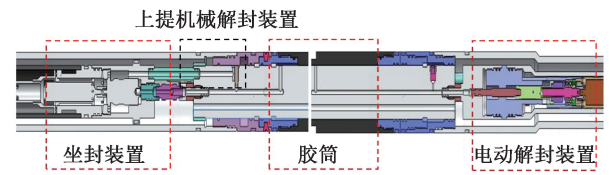


图 3 电动封隔器模型结构示意图
Fig.3 Structure diagram of electric packer model

表 1 电动封隔器技术参数
Table 1 Technical parameters of electric packer

类型	工作状态			仪器情况			封隔压差/ MPa	时长/min		仪器过流 等效通道
	温度/℃	压力/MPa	电压/V DC	外径/mm	长度/m	重量/kg		坐封	解封	
DFGQ90	-30~135	90	90	90	4	75	25	30	3	≥φ30
DFGQ108	-30~135	90	90	108	3	100	25	25	3	≥φ30

(7)延长导管。当需要一次同时测试两层或多层油层时,并且多个射孔位置距离较近,为了减少封隔器坐封次数,用工作筒一次测试几个层的混合液参数时使用。

(8)多参数工作筒。由下接头、油嘴开关、温度压力短节、流量含水短节、过流通道、控制电路、上接头等组成(图 4)。仪器内部有主流道和层流道两个流道。主流道:本层以下各个层的总产液通过下封隔器从下接头流入仪器,从工作筒内部环空流过,由上接头流出;层流道:本层产液从油嘴开关流入,依次通过仪器内部的各个传感器,最后从上接头流出,与主流道汇合,最终进入上封隔器仪器内

部环空直至到筛管短节处流向井口。

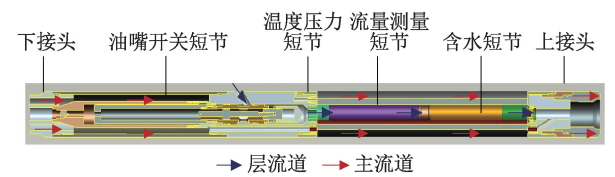


图 4 多参数工作筒模型结构示意图
Fig.4 Structure diagram of multi parameter working cylinder model

多参数工作筒实现单层产液温度,流量,含水,管内、管外压力的测量,并把测量的数据通过遥测短节发送到地面数控机。当油嘴开关关闭后,可测地层恢复压力。流量测量采用浮子流量计;含水测

量采用电容法;温度测量采用 PT1000;压力测量通过管内、管外两个耐高温压力计;油嘴开关采用平衡压结构设计。

2 现场应用

金龙 51 井仪器串长度达到 13 m,现场施工吊车提升高度有限。因此,此次施工只接上电动封隔器+多参数工作筒,测试时将仪器依次下放,测试出每次坐封时的总产液层流量,再将相邻两段的流量值做减法,即得出每层产液流量。

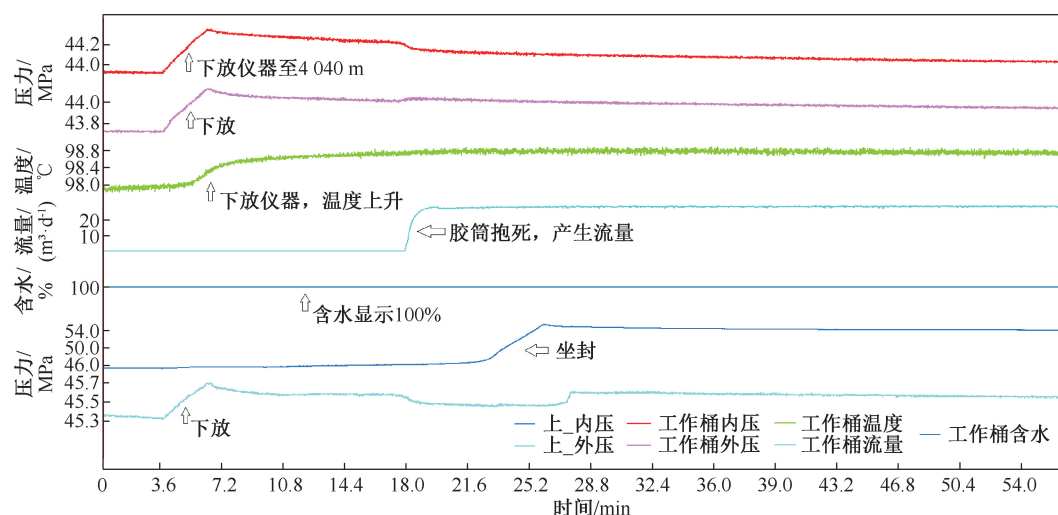


图5 SDC 连续油管水平井 4 040 m 测试曲线

Fig. 5 Test curve of SDC coiled tubing horizontal well on 4 040 m

第二段:下放至 4 084 m,流温 99.7 °C、流压 44.3 MPa,坐封(10 MPa),胶筒抱死后产生流量至 20.7 m³/d 后稳定。

第三段:下放至 4 105 m,流温 100.6 °C、流压 44.4 MPa,坐封(10 MPa),胶筒抱死后产生流量至 16.8 m³/d 后稳定。工作筒含水坐封压差 2 MPa 时跳至 40%左右,并保持稳定。

第四段:下放至 4 241 m,流温 101.8 °C、流压 45.6 MPa,坐封(10 MPa),胶筒抱死后产生流量至 14.7 m³/d 后稳定,工作筒含水 36%左右。

3 结论

(1)通过一次下井,同一支电动封隔器在四个不同油层通过多次坐封解封,让多参数工作筒获得了该井射孔段温度 100 °C 左右、压力 45 MPa 左右,日产液总计 28 m³,含水率约 40%~50% 等油层参数,并找到主产油层为第一层,达到精确评估各段油层的目的。

(2)该技术适用于存在分段射孔油井中,尤其

该井下放至 4 040 m 开始第一次坐封,坐封压差 10 MPa,环境温度约 100 °C,环境压力约 45 MPa,坐封时间 15~20 min。坐封成功后,每个射孔段测试 30 min,截止 8 月 9 日 05:30,共完成 4 个射孔段分段测试工作。

第一段:连续油管将仪器串下放至 4 040 m。下放过程中,工作筒内外压、封隔器内外压和工作筒温度随深度增加而同步变化。下放到位后,流温 98.8 °C、流压 44 MPa,开始坐封(10 MPa),胶筒 0.7 MPa 抱死,产生流量至 28 m³/d 后稳定(图 5)。

是水平井中,能达到一次施工多层电动可控测试,相对传统测试方法施工难度小,施工成本低。

致谢:感谢新疆油田和西安思坦仪器股份有限公司各位领导的大力支持;感谢新疆油田和西安思坦仪器股份有限公司相关人员提供的技术支持。

参考文献

- [1] 陈现义. 水平井预置管柱完井与连续油管带底封分段压裂一体化技术[J]. 石油钻采工艺, 2017, 39(1): 66-70.
CHEN Xianyi. Preset string completion for horizontal wells and staged fracturing integrated technology of coiled tubing with bottom packer [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2017, 39(1): 66-70.
- [2] 周鹏遥, 杨向同, 刘会锋, 等. 连续油管带底封喷砂射孔环空分段压裂技术在塔里木和田河气田的应用[J]. 油气井测试, 2015, 24(5): 49-51.
ZHOU Pengyao, YANG Xiangtong, LIU Huifeng, et al. Application of annulus staged fracturing technology with bottom sealed sandblast perforating by the coiled tubing in the Tarim and Tianhe gas field [J]. Well Testing, 2015, 24(5): 49-51.

- [3] 姚昌宇,王迁伟,高志军,等. 连续油管带底封分段压裂技术在泾河油田的应用[J]. 石油钻采工艺,2014,36(1):94-96.
YAO Changyu, WANG Qianwei, GAO Zhijun, et al. Application of sectional fracturing technique with coiled tubing and bottompacker in Jinghe Oilfield [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2014,36(1):94-96.
- [4] 白田增,吴德,武宗刚,等. 连续油管水平段测井找水技术研究应用[J]. 油气井测试,2016,25(5):41-42,46.
BAI Tianzeng, WU De, WU Zonggang, et al. Research and application of tracing water technology at horizontal section with coiled tubing [J]. Well Testing, 2016, 25(5):41-42,46.
- [5] 王子健,高向前,沈泽俊,等. 连续管水平井找堵水技术的研究与应用[J]. 石油机械,2011,39(4):70-71,74.
WANG Zijian, GAO Xiangqian, SHEN Zejun, et al. Research and application of water plugging technology in continuous tube horizontal well [J]. China Petroleum Machinery, 2011,39(4):70-71,74.
- [6] 李梅,刘志斌,路辉,等. 连续管无限级滑套分段压裂技术在苏里格的应用[J]. 石油机械,2015,43(2):40-43.
LI Mei, LIU Zhibin, LU Hui, et al. Application of CT stepless sliding sleeve staged fracturing technique in Sulige [J]. China Petroleum Machinery. 2015,43(2):40-43.
- [7] 周鹏遥,程远方,杨向同,等. 全通径裸眼封隔器水平井分段改造工艺在塔里木油田的应用[J]. 油气井测试,2016,25(2):57-60.
ZHOU Pengyao, CHENG Yuanfang, YANG Xiangtong, et al. Application of segmented transformation technology with full bore open-hole packer to horizontal well in the Tarim Oilfield [J]. Well Testing, 2016,25(2):57-60.
- [8] 李永平,王永辉,程兴生,等. 高温深层非均质性碳酸盐岩水平井分段改造技术[J]. 石油钻采工艺,2014,36(1):107-111.
LI Yongping, WANG Yonghui, CHENG Xingsheng, et al. Segmented reconstruction technique of high-temperature deep heterogeneous carbonate horizontal well [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2014,36(1):107-111.
- [9] 陈永昌,郭发军,田小川,等. 新型电缆控制分层测试技术[J]. 油气井测试,2020,29(1):53-59.
CHEN Yongchang, GUO Fajun, TIAN Xiaochuan, et al. A new cable control layered testing technology [J]. Well Testing, 2020,29(1):53-59.
- [10] 于书新,程晓刚. 水平井多级压裂后分段测试产能评价技术及应用[J]. 油气井测试,2017,26(2):13-15,19.
YU Shuxin, CHENG Xiaogang. Evaluation technology and application of segmented productivity test to horizontal well after multiple layer fracturing [J]. Well Testing, 2017, 26(2):13-15,19.
- [11] 李青峰,陶晓东,侯万滨,等. 偏心分注验封及分层测试技术的应用研究[J]. 油气井测试,2014,23(5):53-55,58.
LI Qingfeng, TAO Xiaodong, HOU Wanbin, et al. Research on application of eccentric separated injection with seal inspection and separated layer test technology [J]. Well Testing, 2014,23(5):52-55,58.
- [12] 张锐. 长水平段水平井设计与施工难点及对策[J]. 石油和化工设备,2020,23(4):117-118.
ZHANG Rui. Difficulties and countermeasures in the design and construction of long horizontal wells [J]. Petro & Chemical Equipment, 2020,23(4):117-118.
- [13] 徐德行. 长水平段水平井钻井难点与技术对策探讨[J]. 西部探矿工程,2017,29(7):54-55.
XU Dexing. Discussion on drilling difficulties and technical countermeasures of long horizontal well [J]. West-China Exploration Engineering, 2017,29(7):54-55.
- [14] 徐贵春,徐宜建. 连续管直推工艺在带压水平井测试中的应用[J]. 石油机械,2014,42(10):71-73.
XU Guichun, XU Yijian. Application of coiled tubing straight-push technique for the testing of horizontal wells with backpressure [J]. China Petroleum Machinery, 2014,42(10):71-73.
- [15] 刘强. 辽河油田稠油油藏水平井找堵水配套工艺技术[J]. 石油地质与工程,2019,33(1):101-103.
LIU Qiang. Supporting technique of water plugging detection in horizontal wells of heavy oil reservoir in Liaohe Oilfield [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2019,33(1):101-103.
- [16] 宋秋菊,金友春,刘印堂,等. 水平井水力输送法找水生产测井技术[J]. 测井技术,2009,33(1):72-74.
SONG Qiuju, JIN Youchun, LIU Yitang, et al. Production logging of water location prospecting by hydraulic transmission in horizontal well [J]. Well Logging Technology, 2009,33(1):72-74.
- [17] 曹学军,周赞,傅伟,等. 连续油管带压作业技术在特殊复杂井况中的应用[J]. 天然气勘探与开发,2012,35(2):50-52,56.
CAO Xuejun, ZHOU Yun, FU Wei, et al. Application of coiled-tubing operation under pressure to special and complex wells [J]. Natural Gas Exploration and Development, 2012,35(2):50-52,56.

编辑 刘振庆

第一作者简介:屈孝和,男,1988年出生,硕士,工程师,2015年毕业于长安大学机械设计专业,主要从事石油测井试井相关技术设计及研究工作。电话:029-81770351; Email:1151400721@qq.com。通信地址:陕西省西安市高新区科技五路22号西安思坦仪器股份有限公司,邮政编码:710065。