

水平井缆控分层采油及测试一体化工艺

郑忠博

中国石油大庆油田有限责任公司采油工程研究院 黑龙江大庆 163453

通讯作者:Email:zzb19901119@126.com

项目支持:中国石油天然气股份有限公司重大科技专项“大庆油气持续有效发展关键技术研究与应用”子课题“特高含水后期油井智能分层控制开采工艺技术研究”(2016E-0205)

引用:郑忠博. 水平井缆控分层采油及测试一体化工艺[J]. 油气井测试,2020,29(1):28-34.

Cite: ZHENG Zhongbo. Integrated technology of cable controlled stratified oil production and testing in horizontal well [J]. Well Testing, 2020,29(1): 28-34.

摘要 针对目前控水技术无法长期有效控水,造成重复施工等问题,研制了测控一体配产器,操作地面工控机对各层配产器的阀门开度进行分别控制,连续监测分层流量、压力、温度等数据,实现不动管柱随产随测、随测随调的分层采油。通过设计优选小直径井下配套工具及水平段电缆保护措施,优化工艺管柱实现防卡解卡,形成了水平井电缆直控式分层采油及测试一体化工艺。现场4口井试验,管柱顺利下入,获取了分层压力、流量等资料,4口井平均日产液2.0 t,日产油0.5 t,累计增油123.0 t,累计降液1 900.0 m³。该工艺操作简单,可提高水平井工作效率,对水平井控水提供技术借鉴。

关键词 水平井; 控水; 分层采油; 配产器; 电缆; 防卡; 工具设计; 管柱优化

中图分类号:TE353 文献标识码:B DOI:10.19680/j.cnki.1004-4388.2020.01.006

Integrated technology of cable controlled stratified oil production and testing in horizontal well

ZHENG Zhongbo

Research Institute of Oil Production Engineering of PetroChina Daqing Oilfield Co., Ltd., Daqing, Heilongjiang 163453, China

Abstract: To solve the problems such as short effective period of current water controlling technology and the repeated construction, an integrated testing and controlling device has been developed. It can control the valve opening of device for each layer and continuously monitor the layered flow rate, pressure, temperature and other data by operating the surface controlling machine. It can realize the stratified testing with the oil production and adjusting with the testing in the fixed pipe string. This paper formed an integrated technology of cable direct-control layered oil production and testing for horizontal well, by designing and optimizing small-diameter supporting tools and horizontal cable protection measures, optimizing the process pipe string to achieve anti-clamping and unlocking. Four wells were tested at the site, and the string was run smoothly to obtain the stratified pressure and flow data. The average daily fluid production of the four wells is 2.0 t, the daily oil production is 0.5 t, the cumulative oil increase is 123.0 t, and the cumulative fluid drop is 1 900.0 m³. The processing technology is simple to operate, can improve the efficiency of horizontal wells, and provides a technical reference for horizontal wells to control water.

Keywords: Horizontal well; water control; layered oil production; production distributor; cable; anti jamming; tool design; string optimization

截止到2018年底,中石油共有9 100多口水平井,且规模将越来越大。但随着开发时间的延长,水平井的综合含水逐渐上升,这严重影响了水平井的开发效果^[1]。由于水平井出水机理不明确,需要频繁进行调层堵水等施工,而现有的控水技术无法实现长期有效控水,造成重复施工,使成本提高。赵崇镇^[2]针对常规插管式多级找堵水管柱不能实现Ⅰ、Ⅲ层合采的问题,研发了机械式滑

套开关多级找堵水技术,通过下放或上提管柱使开关工具打开或关闭对应油层的滑套,实现多层之间分层开采或合采。王芳等^[3]针对冀东油田特点,开发了压力指令开关找堵水及测试技术,通过压力指令控制井下各开关器的开和关来实现分层采油,与此同时开关器内挂的压力仪实时监测并储存各油层的压力变化曲线。王百等^[4-5]、吕亿明等^[6]、崔文昊等^[7]、朱洪征等^[8-9]、胡改星等^[10]分

别结合长庆油田水平井产液低的特征,经过几年的攻关研究,已形成了由封隔器卡封水平井各层段、智能开关器定时控制各层段依次生产的小流量水平井机械分段生产测试找水工艺技术。王金友等^[11]创新了机、电一体智能化的设计思路,研究成功了采油井分层监测及产液控制技术,解决了分层产量“均衡开采”的长期有效测控问题。甄宝生^[12]、张丽平等^[13]、王小勇等^[14]综合考虑化学堵水与中心管柱控水的特点,提出集成 ACP 环空化学封隔、定点化学封堵、中心管柱控水等3种工艺于一体的堵、控水新工艺。

目前,水平井测试主要使用牵引器牵引测试仪器或油管液力输送仪器至井底,通过上提电缆进行测试^[15-17]。白田增等^[18]采用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,可准确找到漏点及含水段,判断来水方向。贾振甲等^[19]采用分布式光纤传感监测技术,利用光纤系统配合模块化井下工具,实时监测井筒中液体运动及井筒和地层之间的物质交换。顾启林等^[20]利用油管或者连续油管将微差井温测试仪下入热采井水平段,对水平段进行温度、压力测试,然后通过吸汽剖面分析方法和数值模拟分析方法对测试数据进行解释,分析水平段的吸汽和动用情况。张河等^[21]指出连续油管测试技术测试精度较高、实施灵活,但其要求井口为自喷,不能在油套环形空间进行测试。爬行器牵引电缆测井仪器测井的主要问题是爬行器输送难度大,受套管变形、积砂影响,流型流

态复杂,流量和含水率的准确测量难实现,且涡轮易砂卡。油管液力输送的优点是成功率高,成本低,但不足的是输送能力小,测井解释结果准确性较差。

因此,研究一种不动管柱随产随测、随测随调的水平井分层采油及测试一体化工艺,对解决水平井堵水层位频繁调整问题、减小层间矛盾、延长水平井寿命具有重要意义。

1 水平井分层采油及测试一体化工艺

水平井分层采油及测试一体化工艺采用电控配产器,地面控制仪可控制井下阀门的开度并直读井下各层段的压力、温度和流量,在生产后期进行分层可调控水,完善注采关系,建立有效的驱替体系,实现长期稳产。

1.1 系统组成

如图1所示,水平井电缆直控式分层采油及测试一体化技术系统主要由地面控制系统、电缆二次对接系统及分段控制系统三部分组成。

(1)地面控制系统由地面工控机、地面回放仪、井口电箱等组成。

(2)电缆二次对接系统由二次对接组件(二次对接组件插头、二次对接组件插座)及液压油管锚组成。

(3)分段控制系统由电缆预置装置、扶正器、Y341封隔器、过电缆接头、脱卡器、测控一体配产器组成。

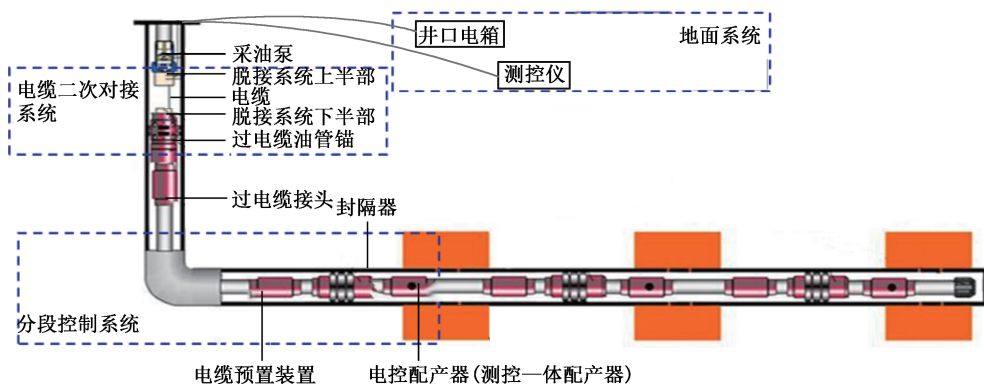


图1 水平井分层采油及测试一体化工艺管柱结构示意图

Fig.1 Structural diagram of integrated process string for layered oil production and test in horizontal well

1.2 技术原理

水平井电缆直控分层采油及测试一体化工艺管柱主要由生产管柱和分层控制管柱两部分组成,电缆分别随管柱下入,两部分的电缆通过二次对接组件进行连接,采用封隔器将水平井射孔层位分段

卡开,每层段对应放置一个测控一体配产器,测控一体配产器可录取井下分段流量、含水、压力、温度等数据,通过电缆上传给地面测控仪存储并显示,在地面进行数据收集和分析整理。同时,根据油藏地质需求,测控一体配产器也可以接收地面测控仪

发出的调控指令进行分段配产,实现各层段的均衡采出。

1.3 工艺特点

- (1)一趟管柱可实现找水、堵水功能。
- (2)连续监测井下各层段的流量、压力和温度。
- (3)测控一体配产器通过井口地面控制仪操作,可实现井下任意层段的开关,调层方便。
- (4)电缆内置保护工艺,可避免下井作业过程中电缆的损坏。
- (5)电缆二次对接系统保证管柱不受采油泵蠕动影响,检泵时仅需提出生产管柱。

2 配套工具

为满足后期不动管柱检泵作业、提高作业效率,以及水平井频繁调控水的需求,对测控一体配产器和二次对接组件等配套井下工具的结构特点和工作原理进行研究分析。

2.1 测控一体配产器

测控一体配产器主要由钢体部分和电控部分组成,如图 2 所示。

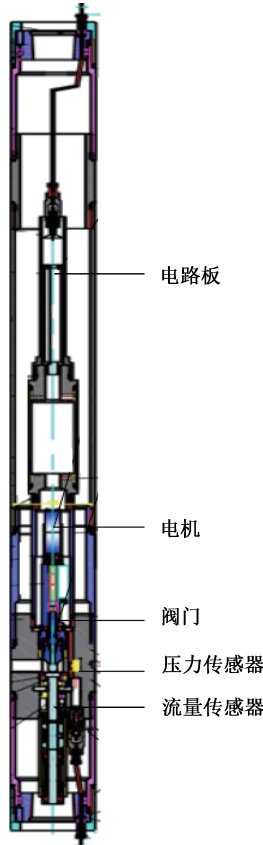


图 2 测控一体配产器结构示意图

Fig.2 Structure diagram of the integrated production distributor for measurement and control

其中钢体部分主要包括上接头、连接套、电路板密封腔、电机舱、阀座、阀芯和流量计座和下接头等组成;电控部分包括电缆、电缆密封件、电路板、减速电机、位移传感器、压力传感器、温度传感器和流量传感器等组成。

测控一体配产器集成了温度、压力、流量监测工具与智能控制阀门,借助传输电缆连接地面控制箱和井下测控一体配产器,实现井下各段相关数据的录取、分析和阀门开度的控制,达到稳油控水目的。

2.2 二次对接组件

为满足不动管柱检泵需求,将水平井电缆直控分层采油及测试一体化工艺管柱设计成为丢手管柱,主要由生产管柱和分层控制管柱组成,两部分管柱在脱接系统处丢手并回接。电缆脱接装置随措施管柱下入井中,坐封丢手后,管柱从电缆脱接装置处脱离起出;将电缆脱接装置上半部分连接在生产管柱最下端下井。当指重表显示负荷下降时,表明电缆脱接装置对接,为井下工具提供电源并传输井下存储信号。同时对接点采用过盈设计,保证对接可靠的同时,尽量多地排出对接点附近液体;对接配合面为绝缘材料且带有密封圈,保证对接系统与周围液体长期隔绝、密封。

电缆在直井段的抽油泵以上,采取外捆式固定方式,通过二次对接系统将生产管柱与分层管柱的电缆进行对接。二次对接系统的上、下接头,以插头-插座方式进行电缆连接,如图 3 所示。

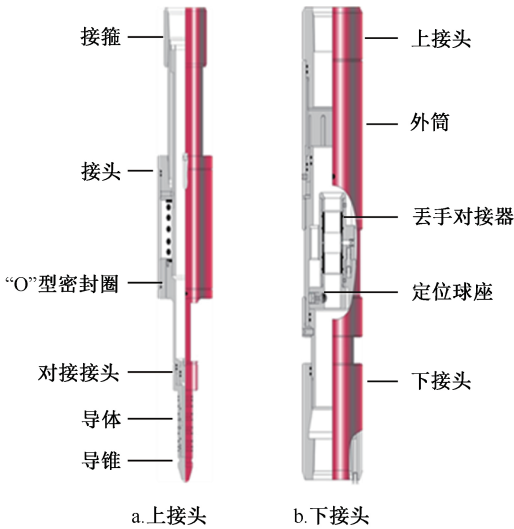


图 3 二次对接组件结构示意图

Fig.3 Structural diagram of secondary butt joint components

上接头自身具有伸缩功能,对接后可上提0.5 m。这样,可以避免在泵抽时管柱蠕动造成对接失效。下接头采用打压丢手方式,丢手压力较低,安全可靠。经室内和现场多次验证,对接成功率100%。

3 配套工艺优化研究

考虑到水平井井身结构存在造斜段、水平段,现有直井电缆外卡式保护方式存在电缆磨损、挤压问题,打捞过程也存在卡管柱风险,研究形成了水平段电缆保护工艺和防卡解卡工艺,实现管柱安全起下,提高工艺可靠性。

3.1 水平段电缆保护工艺

水平井电缆保护设计思路:直井段,采用现有直井外卡式电缆保护方式;造斜段、水平段,采用电缆内穿油管设计,并在各段间设计过电缆接头。主要的配套工具有电缆预置装置,电缆打捞矛,柔性电缆,过电缆接头,电缆保护器等。

3.1.1 电缆预置装置、预置电缆打捞矛研制及柔性电缆优选

(1)设计可存储电缆的管柱预置装置,首先将电缆缠绕在电缆预置装置内,下入相应长度的管柱后,利用预置电缆打捞矛从油管内捞出预存的电缆并与上部电缆对接,保证水平段及造斜段的电缆均在油管内穿过,防止电缆受挤压或碾压而破坏。

(2)由于电缆需要缠绕在预置装置内,芯轴外径仅为 $\phi 70$ mm,优选的耐腐蚀、可承压、密封性较好的柔性承载荷电缆,最小弯曲半径40 mm,缠绕并拉伸后仍能承压30 MPa,且通电通信正常。

(3)研制与电缆预置装置配套的预置电缆打捞矛,打捞头采用常规凸轮机构定位并配打捞杆,可保证电缆打捞可靠性,电缆缠绕后膨胀在工作筒内壁上,单套工具可缠绕70 m电缆,最大初始打捞力为30 kg。

3.1.2 过电缆接头研制

如图4所示,在工具串位置研发了过电缆接头,将电缆从工具串内部穿过,实现工具串整体过电缆设计,过电缆接头可承压30 MPa不渗不漏。

通过该设计,井下工具串可以在地面预先连接并穿电缆试压,提高井下工具及电缆的密封可靠性。

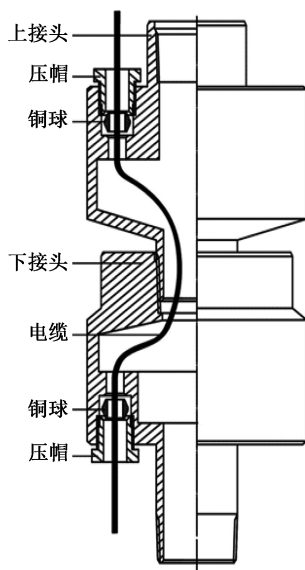


图4 过电缆接头结构示意图

Fig.4 Structure of through-cable connector

3.1.3 电缆接头、电缆保护器等配套工具研制

井下完井管柱工具串需要用电缆接头来连接。电缆接头不但要具有连接方便的特点,同时必须密封可靠,保证井下工具的使用寿命。电缆保护器主要用于保护下井电缆,避免受到挤压导致电缆损坏,从而影响井下工具的使用寿命。

3.2 防卡解卡工艺

由于水平井投产前都需要进行压裂措施,出砂情况十分严重,同时鉴于水平井的井身结构特殊性,丢手管柱必须具有防卡解卡功能,以实现管柱的安全起下。当管柱起出遇卡时,可进行安全脱卡,顺利起出管柱。

(1)对于水平井,井下工具在套管内通过性由工具长度和外径决定。为防止工具在井眼轨迹曲率半径最小位置发生卡阻,每次施工前必须进行管柱通过性能计算。计算公式如下:

$$L = 2 \times \sqrt{(R + D)^2 - (R + d_1/2 + d_2/2)^2}$$

式中: R 为井身曲率半径,m; D 为曲率半径为 R 处套管内径,m; d_1, d_2 分别为井下工具串上相邻两个工具的最大刚性外径,m; L 为井下工具串最大允许通过长度,m。

因此,通过计算,工艺管柱采用小直径设计,见表1。主体工具外径均小于110 mm,提高管柱通过性能和防卡性能。

(2)研制钢球扶正器,强制扶正124 mm。坐封后保证工具串居中,保证管柱密封效果,起出过程中增大过流面积,降低卡管柱风险。

表 1 井下主要工具尺寸

Table 1 Dimensions of main downhole tools

| 工具名称 | 直径/mm | 长度/mm |
|---------|-------|-------|
| 电缆预置装置 | 110 | 1 780 |
| 测控一体配产器 | 114 | 3 150 |
| 过电缆接头 | 114 | 250 |
| 钢球扶正器 | 108 | 500 |
| 封隔器 | 108 | 780 |
| 脱卡器 | 108 | 300 |

(3)水平井沉砂遇卡主要是由于封隔器胶筒堆砂造成砂卡,且易造成多点遇卡。为此,研发了分段脱卡工艺。将液压-机械组合脱卡器,置于每级封隔器以下,遇卡时,先提出卡点以上管柱串;下入专用捞矛,打捞并正反洗。若仍提不动,可通过油管内投球并打压产生较大解卡力,实现管柱打捞。

4 现场应用及效果

大庆油田共完成 4 口水平井缆控分层采油及

测试一体化工艺施工。措施前,平均日产液 1.90 t,日产油 0.15 t,含水 92.1%;措施后,平均日产液 2.00 t,日产油 0.50 t,含水 75%,累计增油 123.00 t,累计降液 1 900.00 m³。以 X-2 井为例,阐述详细的施工过程。

X-2 井于 2013 年投产,该井人工井底 2 430.0 m,水平段长 527.0 m。原始地层压力 22.5 MPa,目前地层压力 10.85 MPa。该井最大井斜角为 92.34°,深度 1 906.0 m,固井质量良好。X-2 井采用导压喷砂器进行了大规模加砂压裂,全井共分 9 段压裂。通过油水井动态分析认为,根端见水的可能性较大。为了录取井下数据,并验证水平井缆控分层采油及测试一体化工艺的可行性及适用性,同时对该井实施机械控水施工,降低产水量,发挥油井潜力,将该井分为 2 段进行缆控分层采油及测试一体化现场试验,确定各层段产出状况。X-2 井生产动态曲线如图 5 所示。

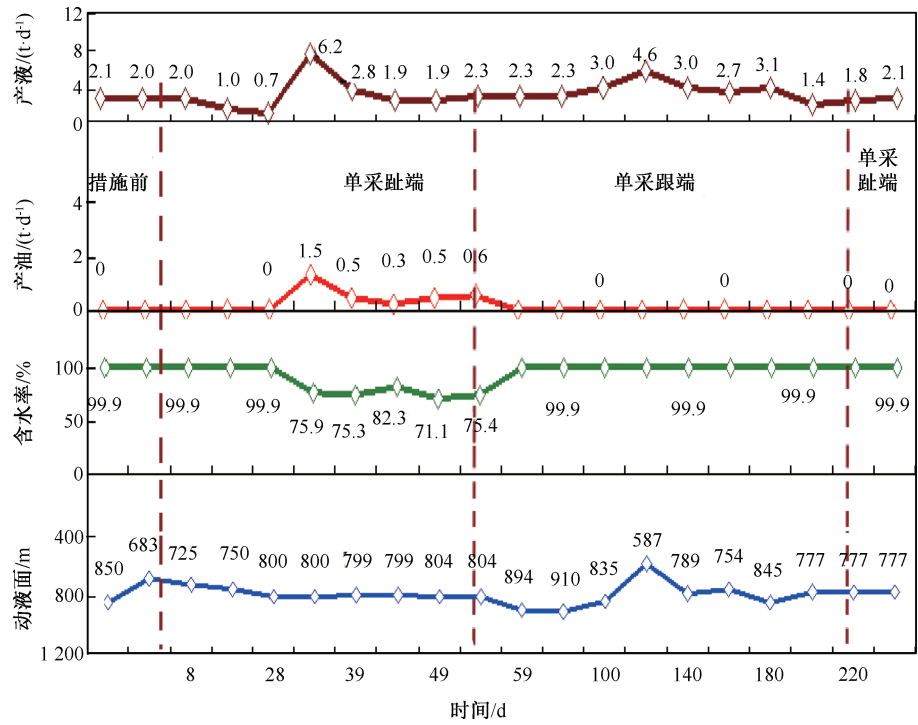


图 5 X-2 井生产动态曲线
Fig.5 Production performance curve of Well X-2

具体施工步骤如下:

(1)起原井、冲砂、刮削通井洗井。提出原井管柱,下冲砂管柱,冲砂井段 1 700.00~2 430.00 m,至出口无任何杂物。下入刮削、通井洗井管柱,通井至深度 2 100.00 m,要求 1 346.12~1 357.06 m、1 831.73~1 841.66 m、2 079.54~2 091.00 m 进行反

复刮削 3 次,通井合格后,进行下步工序。

(2)验窜。下入验窜管柱至指定位置,上下封隔器卡点要避开套管接箍;采用套溢法验窜。将套管灌满水,经油管加液压进行验窜,验窜压力 6~8~6 MPa,各点稳压 5 min。套管溢流无明显变化,则表示所验隔层合格。根据验窜情况,修订分层方案

并执行下步施工。

(3)投送丢手管柱。电缆导向轮需固定在作业机井架上,将电缆从导向轮穿过。下到预定位置,记录悬重及位置,如套管液面不在井口需灌满,坐好井口。坐封封隔器,打开脱卡器的保护装置,完成二次对接系统丢手,提出投送丢手管柱。采用测试钢丝绞车,油管内投送连接电缆和对接头至管内电缆对接器,对接后通电检测电缆及井下各工具连接状态,保证通电可靠。

(4)下入泵抽生产管柱。连接二次对接装置公头于筛管下,连接生产管柱,泵抽管柱的电缆采用外捆式固定。泵抽管柱下至距离对接点10 m以上位置时记录悬重,缓慢下放进行电缆对接。确定电缆对接成功后,上提0.5 m,地面进行电缆信号测试。测试合格后,进行下步工序。

(5)安装偏心井口,电缆从井口测试偏心孔穿出,用专用接头封死,完井,试抽。

(6)投产后验封工艺。通过地面回放仪控制关闭井下所有层段的缆控一体配产器,井口关闭油管管线,通过井口套管管线打压,同时监测井下各层段的套管压力。如果某一层段的套管压力随井口套压增长,则该级封隔器失封;否则,认为封隔器密封有效。

(7)调层。通过地面回放仪控制井下任意层段缆控一体配产器的电机工作,调节进液量的大小。

从X-2井生产动态曲线可以看出(图5),当开采趾端时,日产液1.9 t,日产油0.5 t,含水75.3%;开采跟端时,日产液2.7 t,全水。从生产情况来看,该井跟端为出水段,目前已调至开采趾端状态。

5 结论

(1)该工艺管柱地面调层可靠,可以实现水平井分段开采功能,对提高水平井单井产量、延长水平井低含水采油期具有重要意义,为今后水平井化学堵水、分层酸化解堵提供技术储备。

(2)水平井分层采油及测试一体化工艺实现了对水平井下分层段的压力、流量、温度长期连续动态监测,测试数据更加准确,对后期指导压裂、完善注采关系,建立有效的驱替体系有重要意义。

(3)创新研究形成了水平段电缆内置保护工艺和防卡解卡工艺等配套技术,确保工艺现场应用的可靠性。

致谢:感谢大庆油田采油工程研究院同意本文公开发表。

参考文献

[1] 曹立迎,刘慧卿,张宗元,等.边水油藏水平井见水规律

及控水措施研究[J].断块油气田,2010,17(4):448-450.

CAO Liying, LIU Huiqing, ZHANG Zongyuan, et al. Research on law of water breakthrough and water control for horizontal well in edge water reservoir [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2010,17(4):448-450.

[2] 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.

[3] 王芳,肖国华,陈雷.压力指令开关找堵水及测试技术在油田的应用[J].石油机械,2015,43(1):84-87.

WANG Fang, XIAO Guohua, CHEN Lei. Application of water layer detecting, plugging and testing technology using pressure instruction control switch in oilfield [J]. China Petroleum Machinery, 2015,43(1):84-87.

[4] 王百,常莉静,罗有刚,等.水平井井下取样找水技术[J].石油钻采工艺,2014,36(5):131-133.

WANG Bai, CHANG Lijing, LUO Yougang, et al. Technology for water exploration by sampling in horizontal wells [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2014,36(5):131-133.

[5] 王百,黄伟,李凡书,等.小流量水平井机械分段找水技术研究与应用[J].钻采工艺,2014,37(2):54-56,74.

WANG Bai, HUANG Wei, LI Fanshu, et al. Research and application of mechanical segmentation water testing technology in horizontal well with small flow [J]. Drilling & Production Technology, 2014,37(2):54-56,74.

[6] 吕亿明,王百,黄伟,等.水平井找水测试一体化工艺技术[J].石油矿场机械,2011,40(2):93-95.

LV Yiming, WANG Bai, HUANG Wei, et al. Integration technology of water detection and testing for horizontal well [J]. Oil Field Equipment, 2011,40(2):93-95.

[7] 崔文昊,高榕,牛彩云,等.低渗透油田水平井高效找水技术研究与应用[J].石油化工应用,2016,35(9):20-24.

CUI Wenhao, GAO Rong, NIU Caiyun, et al. Research and application of high efficient water detection technology of horizontal wells in low permeability reservoir [J]. Petrochemical Industry Application, 2016,35(9):20-24.

[8] 朱洪征,吕亿明,崔文昊,等.水平井井下射线式含水监测仪的研制与试验[J].钻采工艺,2017,40(1):83-85.

ZHU Hongzheng, LV Yiming, CUI Wenhao, et al. Development and test of downhole ray-type water monitor for horizontal wells [J]. Drilling & Production Technology, 2017,40(1):83-85.

[9] 朱洪征,郭靖,黄伟,等.低液量水平井存储式产液剖面测井技术与应用[J].钻采工艺,2018,41(6):50-52.

ZHU Hongzheng, GUO Jing, HUANG Wei, et al. Development and application of memory type fluid production profile logging technology in low liquid output horizontal

- wells [J]. Drilling & Production Technology, 2018, 41 (6):50-52.
- [10] 胡改星,巨美歆,于九政,等. 油管内对接井下电缆湿接头的研制与应用[J]. 石油机械, 2017, 45 (7): 68-71.
HU Gaixing, JU Meixin, YU Jiuzheng, et al. Development and application of downhole cable wet connector in tubing [J]. China Petroleum Machinery, 2017, 45 (7): 68-71.
- [11] 王金友,刘宗宗,陈佳丽,等. 采油井分层监测及产液控制技术研究与应[J]. 钻采工艺, 2017, 40 (4): 44-46.
WANG Jinyou, LIU Zongzong, CHEN Jiali, et al. Research and application of separate layer monitoring & fluid production control in oil production wells [J]. Drilling & Production Technology, 2017, 40 (4): 44-46.
- [12] 甄宝生. 井下智能找水、堵水技术在渤海油田水平井中的应用[J]. 油气井测试, 2016, 25 (4): 56-57.
ZHEN Baosheng. Application of intelligent water zone identification and water shut-off in horizontal wells in Bohai offshore oilfield [J]. Well Testing, 2016, 25 (4): 56-57.
- [13] 张丽平,高尚,刘长龙,等. 水平井化学机械组合堵控水工艺及管柱分析[J]. 石油矿场机械, 2018, 47 (3): 50-53.
ZHANG Liping, GAO Shang, LIU Changlong, et al. Study and string analysis of plugging and controlling water technology by combining chemical method and mechanical method for horizontal wells [J]. Oil Field Equipment, 2018, 47 (3): 50-53.
- [14] 王小勇,黎明志,王磊,等. 水平井智能分段开采工艺管柱的研制与应用[J]. 石油机械, 2013, 41 (6): 97-100, 114.
WANG Xiaoyong, LI Mingzhi, WANG Lei, et al. Development and application of horizontal intelligent staged production string [J]. China Petroleum Machinery, 2013, 41 (6): 97-100, 114.
- [15] 陈蕾. 水平井油管输送产液剖面测井集流器的研制[J]. 石油管材与仪器, 2018, 4 (5): 61-63.
CHEN Lei. Flow collector for tubing conveyed production profile logging in horizontal well [J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2018, 4 (5): 61-63.
- [16] 聂飞朋,石琼,郭林园,等. 水平井找水技术现状及发展趋势[J]. 油气井测试, 2011, 20 (3): 32-34.
NIE Feipeng, SHI Qiong, GUO Linyuan, et al. Present situation and development trend of water detection tech in horizontal well [J]. Well Testing, 2011, 20 (3): 32-34.
- [17] 王广林,王彬,周丙部,等. 水平井测试及监测压裂动态综合分析[J]. 油气井测试, 2012, 21 (3): 22-23.
WANG Guanglin, WANG Bin, ZHOU Bingbu, et al. Comprehensive analysis of well testing and monitoring of dynamic fracturing for horizontal [J]. Well Testing, 2012, 21 (3): 22-23.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 顾启林,孙永涛,马增华,等. 海上稠油热采井微差井温测试技术[J]. 油气井测试, 2018, 27 (5): 73-78.
GU Qilin, SUN Yongtao, MA Zenghua, et al. Differential well temperature testing technology for offshore heavy oil thermal recovery wells [J]. Well Testing, 2018, 27 (5): 73-78.
- [21] 张河,易晓忠,胥青,等. 石南 31 井区清水河组油藏水平井测试工艺研究[J]. 油气井测试, 2014, 23 (1): 55-57.
ZHANG He, YI Xiaozhong, XU Qing, et al. Study on well test technology to horizontal well in Qingshuihe group reservoir of Shinan 31 well block [J]. Well Testing, 2014, 23 (1): 55-57.

编辑 王 军

第一作者简介:郑忠博,男,1990年出生,硕士,工程师,2015年毕业于中国石油大学(北京)油气田开发系统工程专业,现主要从事分层采油及测试研究工作。电话:0459-5952780,18745951219;Email:zzb19901119@126.com。通信地址:黑龙江省大庆市让胡路区西宾路9号采油工程研究院,邮政编码:163453。