

稠油测试中油气分离与产量计量方法

王雪飞¹, 谭忠健², 张金煌¹, 杜连龙¹, 王野³, 周新宇⁴

- 1. 中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司 天津 300459
- 2. 中海石油(中国)有限公司天津分公司工程技术作业中心 天津 300459
- 3. 廊坊开发区近海石油服务有限公司 河北廊坊 065007
- 4. 中国石油集团渤海钻探工程公司第二钻井工程分公司 河北廊坊 065007

通讯作者: Email: wangxf3@cnoc.com.cn

项目支持: 国家重大专项“海上稠油热采技术”(2016ZX05025-004)

引用: 王雪飞, 谭忠健, 张金煌, 等. 稠油测试中油气分离与产量计量方法[J]. 油气井测试, 2019, 28(2): 33-39.

Cite: WANG Xuefei, TAN Zhongjian, ZHANG Jinhuang, et al. Method for oil and gas separation and production measurement in heavy oil testing [J]. Well Testing, 2019, 28(2): 33-39.

摘要 为解决海上作业工况下稠油精准计量的难题,对分离器壳体外部加设金属软管蒸汽加热装置实现罐体伴热保温,并对分离器的管线及阀门通过电伴热系统加热保温,防止稠油在分离器内部时间过长温度降低,影响稠油分离效率;在分离器内部增设专用旋流消泡装置,增加物理消泡效果;对传统的计量罐看窗搭载改进版磁浮力液位计,精确读取计量罐液位。在渤海油田渤中区块3口井进行了试验性应用,地面计量稠油最高黏度达2 787 mPa·s (50 ℃),油嘴敞放,控制流程进分离器,原油进计量罐计量,天然气走栈桥燃烧,实现了高黏度稠油的精确计量。该技术解决了稠油精确计量技术难题,为渤海油田稠油井测试提供了技术支撑。

关键词 渤海油田; 稠油; 地层测试; 三相分离器; 计量罐; 液位计; 电伴热系统; 旋流消泡装置

中图分类号: TE353 **文献标识码**: B **DOI**: 10. 19680/j.cnki.1004-4388. 2019.02.006

Method for oil and gas separation and production measurement in heavy oil testing

WANG Xuefei¹, TAN Zhongjian², ZHANG Jinhuang¹, DU Lianlong¹, WANG Ye³, ZHOU Xinyu⁴

- 1. CNOOC EnerTech-Drilling & Production Company, Tianjin 300459, China
- 2. EnerTech Center of Tianjin Branch of CNOOC (China) Limited, Tianjin 300459, China
- 3. Langfang Development Zone Offshore Oilfield Service Co., Ltd., Langfang, Hebei 065007, China
- 4. No.2 Drilling Branch of CNPC Bohai Drilling Engineering Co. Ltd., Langfang, Hebei 065007, China

Abstract: In order to solve the problem of accurate metering of heavy oil under offshore working conditions, the following countermeasures were proposed. Firstly, a metal hose steam heating device was added to the outside of the separator housing to realize the heat insulation of the tank. In addition, the electric heating system was used to heat the pipeline and valve of the separator to assure the separation efficiency of heavy oil and prevent the temperature reduction of heavy oil because of long lasting time in the separator. Secondly, a special cyclone defoaming device was added inside the separator to increase physical defoaming effect. Thirdly, a conventional metering tank viewing window was equipped with an improved version of the magnetic buoyancy level gauge to accurately read the metering tank level. The experimental application was carried out in three wells in Bozhong block of Bohai Oilfield. Under the condition that the maximum viscosity of heavy oil measured on the ground reached 2 787 mPa·s (50 ℃), and the nozzle was open without limitation, the technology can effectively control the flow into the separator, the crude oil into the metering tank, and the natural gas into the trestle to burn, thus realizing the accurate metering of heavy oil with high viscosity. This technology solved the technical problem of accurate heavy oil measurement and provided technical support for heavy oil well testing in Bohai Oilfield.

Keywords: Bohai Oilfield; heavy oil; formation test; three-phase separator; metering tank; liquid level gauge; electric heat tracing system; cyclone defoaming device

我国稠油分布广,储量大。但是稠油黏度高、凝固点高、沥青质和胶质含量高,流动性差,使得稠油产量的准确计量成了一大难题。准确计量产量对于储量评估及后期开发方案的制定有着至关重要

要的作用。但现有的稠油计量方法和仪器都各有利弊,不能够很好的适应稠油计量,现探索通过技术升级手段使其能够适应并适合稠油的计量工作。为克服稠油计量困难,谭忠健等^[1]对稠油油藏分布、稠油测试难点进行阐述,并对测试技术,如机采技术、降黏技术进行了分析探索。张燕等^[2]详细阐述了重质起泡稠油计量的准确性及与现有技术的匹配性,对油品化验进行分析,分析黏温曲线特点,进而提出通过提高原油进分离器温度,并在进流程前加入降黏剂等措施,达到精准计量稠油的目的。胡广杰等^[3]通过对稠油含气率分析,得出稠油计量需提温消泡,降低含气率,提高计量的准确性。卢中原等^[4]设计了一种中低频智能双频组合变频加热装置,采用智能双频-中低频组合电加热变频控制工艺,根据稠油性质实现温度可控,对稠油有效降黏,达到精确计量。孙婧等^[5]分析了传统分离计量对稠油计量的短板,主要改进措施是脱气与降黏。上述文章探讨分析了现有的计量技术,可以看出针对稠油计量主要攻关方向一直集中在提温、降黏方面。本文依然从这两个方向着手,旨在找出更加方便、便捷、操作性强的工作方法。

现行业内常用的稠油计量方法主要有^[6]:

(1)量杆计量法。它是人工计量方法,每隔一段固定时间,把量杆顺着排气孔插入计量罐中,测量液位高度差;由于工人频繁上下计量罐操作时靠近排气孔,易造成坠落伤害及有害气体中毒伤害,存在安全隐患。(2)计量罐液位差计量法。该方法采用静压测量原理,根据公式,可以得到液位深度 h (高度);由于海上油田风浪影响,造成平台轻微晃动,进而导致计量罐内液体晃动,从而影响看窗的观察,最后导致原油产量计量不准确。(3)差压式液位计法。它是采用差压变送器检测取压位置与液位之间的差压,通过密度转换为液位来测量介质液位。但海上作业易受风浪影响造成平台轻微晃动,从而导致计量罐内看窗液面的不稳定,最后导致原油产量计量不准确。(4)超声波、雷达液位计法。该方法是通过超声波或雷达波碰到液面后反射回波,仪表检测出发射波及回波的时差,从而计算出液面高度。和差压式液位计一样,由于风浪与外界干扰等原因,导致测量数据不够准确。(5)磁致伸缩液位计法。该方法是基于磁致伸缩效应工作的,测量时,电流脉冲沿着波导管传输,形成的电磁场与浮子磁场相遇,产生螺旋型磁场,使波导丝扭曲

变形,激发扭转弹性波,通过该弹性波计算出浮子的实际位置,测得液位。(6) V_x 多相流流量计法。其核心为文丘里管和伽马检测仪。当流体流经节流件时,在其上、下游就会产生静压力差,通过压力感应器记录静压力差,然后就可以由流量公式求得流量。此技术多应用于化学药剂系统、生产水系统、开闭排系统等。针对稠油计量技术升级,前人也在不断探索。王学凤等^[7]在研究中呈现了一种新的计量技术理念,这种技术与油气分离技术不同,更适用于计量罐计量和泥浆池液位计量。万志鹏等^[8]探讨了改进翻板液位计的方案,与磁致伸缩测量仪技术一样更适合于与计量罐结合。周恒^[9]针对稠油油气分离进行试验并建立数学模型,对模型分析求解,最后得出气泡直径与原油黏度对分离效果影响较大,可针对减小气泡直径和降低原油黏度这两个方向突破。本文力求站在当前技术基础上,探索更加适合海上作业工况与稠油特点的一种技术方法。通过对分离器改造升级、计量罐计量技术改造升级,以达到精准计量稠油的目的。

1 技术改进后的稠油计量方法

常规的稠油计量需要解决的两个关键问题:其一,稠油产量低的情况下,稠油在分离器的滞留时间较长,导致稠油温降大,从而影响稠油分离效率;其二,稠油加热之后,极易产生泡沫,严重影响稠油的计量精度。

1.1 分离器外部技术改造

为了防止稠油在分离器内部时间过长温度降低,影响稠油的分离效率,对分离器的壳体和进出口管线进行改造(图1),主要分为两个方面:罐体伴热保温和管线上电伴热保温^[10-12]。

罐体伴热保温是在分离器壳体外部加设金属软管蒸汽加热装置。其技术参数如下:伴热采用不锈钢捆扎金属加温管线,耐温 $-194\sim 400\text{ }^{\circ}\text{C}$,耐压 1.5 MPa 。通过如下公式(1),对伴热管根数计算,优选4根伴热管位于罐体下方两侧 25° 和 45° ,采用螺旋缠绕方式,金属加温管线与罐体接触紧密,金属加温管线内部通蒸汽,蒸汽温度为 $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、压力 0.7 MPa ,可在产量为 $300\sim 400\text{ m}^3/\text{d}$ 时维持壳体温度在 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。

伴热管根数 n 计算公式为

$$n \geqslant d/d_0. \quad (1)$$

其中

$$d = \frac{k(T - T_a)}{\alpha_T(T_w - T) \left[\frac{1}{2\lambda} \ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right) + \frac{1}{\alpha D_o} + \frac{1}{\alpha_i D_i} \right]}$$

式中: d 为蒸汽伴热管直径, m ; k 为热损失附加系数; T 为被伴介质温度, $^{\circ}C$; T_a 为环境温度, $^{\circ}C$; T_w 为伴管介质温度, $^{\circ}C$; λ 为保温材料制品导热系数, $W/(m \cdot ^{\circ}C)$; D_i 为保温层内径, m ; D_o 为保温层外径, m ; d_o 为伴管外径, m ; α 为保温层外表面向大气的放热系数, $W/(m^2 \cdot ^{\circ}C)$; α_i 为保温层内加热空间空气向

保温层的放热系数(一般取 13.95), $W/(m^2 \cdot ^{\circ}C)$; α_T 为伴管向保温层内加热空间的放热系数, $W/(m^2 \cdot ^{\circ}C)$; n 为伴管根数。

电伴热绕距计算公式为

$$S = \frac{\pi(D_o + \xi_1)}{\sqrt{(L_s/L_g)^2 - 1}} \tag{2}$$

式中: S 为缠绕的绕距, mm ; ξ_1 为伴热带厚度, mm ; L_s 为电热带最终长度, m ; L_g 为管道长度, m ; D_o 为管道外径, mm 。

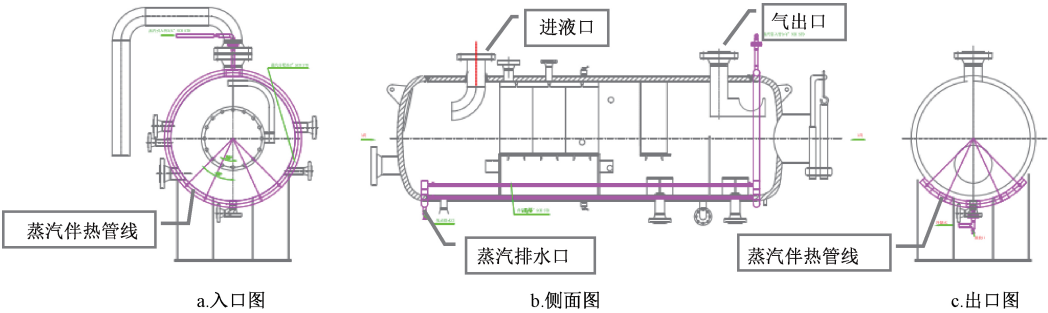


图 1 分离器蒸汽伴热布线图
Fig.1 Wiring diagram of separator steam heating

管线保温是对分离器的管线、阀门通过电伴热系统进行加热保温。然后,在加热装置的外部采用防火、环保的填充材料和保温铝皮结构进行包裹保温。用于加热管线的电伴热系统,采用中温自限温电伴热带,输出电压为 36 V 的安全电压,电伴热自身温度高达 $105\text{ }^{\circ}C$,内部介质温度能维持在 $75 \sim 80\text{ }^{\circ}C$,并且具有自动温度控制功能和防爆功能,适用于温度低至 $-20\text{ }^{\circ}C$ 的环境。

1.2 分离器内部技术改造

为了分离器对油气分离的更加彻底^[13-14],流量计对原油的计量更加的精准,就必须对进入分离器的液体进行消除泡沫。目前,世界上较为先进的做法是进行物理和化学双重消泡。为此,在分离器内部设置了四个旋流消泡装置,以增加分离器物理消泡的效果。同时可配合化学消泡的作用,来达到对原油彻底消泡的效果。

旋流消泡装置(图 2)基于离心力场大于重力场的原理,对进入分离器的液体施加一个可控的剪切力,气液两相在入口处沿切向运动,在离心力的作用下流场高速旋转进行涡旋运动,气液两相中密度较大的液相受到较大离心力的作用,形成外旋涡流场,在圆柱段速度为向下运动和沿径向向外运动合成,到达锥体段后运动方向沿器壁向下运动,最终从底流口排出;密度较小的气相受到的离心力较

小,速度方向指向中心轴线方向并形成向上运动的内漩涡。利用旋转离心力来分离气流中的液滴,由于离心力大小是重力数百倍甚至更多,属于超重力,因此该方法较重力分离更具效率,可以使大量泡沫分解,从而降低整个液体的泡沫比例^[15-16]。

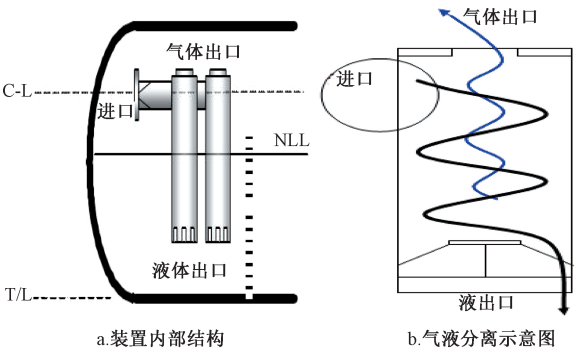


图 2 双排旋流消泡装置示意图
Fig.2 Schematic diagram of double row cyclone defoaming device

1.3 计量罐看窗技术改造

由于稠油黏度大,泡沫多,造成传统的计量罐的看窗液面模糊不清,无法准确读取,所以很难保证原油产量的真实性。为了解决这个难题,对传统的计量罐看窗进行了改造,搭载改进版磁浮力液位计,精确读取计量罐液位。

磁浮力液位计是由浮子(图 3)、浮子腔体和指示器组件构成(图 4)。浮子腔体安装时直接与罐

体连通。浮子腔体通常通过侧面法兰与罐体连接。但也可以根据要求,选择不同的连接方式。在腔体中装有浮子,浮子的设计和制造保证其70%~80%的体积浸在过程介质中。当介质的密度为设计密度时,浮子磁性组件的磁力中心与介质的液面位置一致,从而浮子的位置直接反映过程介质的液位。

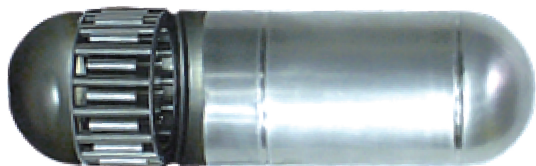


图 3 浮子原图

Fig.3 Original diagram of float

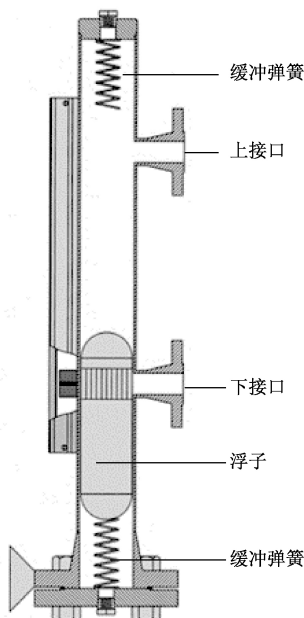


图 4 磁浮力液位计结构示意图

Fig.4 Structure diagram of the magnetic buoyancy level gauge

液位计安装于底部法兰上的止动弹簧会阻止浮子的向下运动,而使其停在相应于刻度尺的零点处。腔体顶部安装有浮子止动弹簧,当腔体中介质液位改变太快时,止动弹簧可以缓冲浮子所受到的冲击,使用的过程中更加的安全。

为了使该液位计更加的适合稠油计量的作业,在原来的基础上对液位计做了相应的改进。首先,对浮子进行尺寸上的缩小,减少稠油接触面积,增加了浮子与腔体之间的空隙,以便于浮子上下的活动更加敏感(最小上浮力达到 75 g),提高计量精度^[17-19];其次,在腔体的外面增加了一层外壁,该外壁与原腔体的外壁形成一定的环形空间,便于用热

蒸汽对腔体进行加热,保证腔体内的原油不会因为温度降低黏度增大,影响浮子的活动^[20-21]。

2 现场应用

改进后稠油计量技术首先在渤海油田渤中区块渤中 A、渤中 B、渤中 C 三口井进行了试验性应用。三口井都采用 APR+PCP+TCP 射孔联作测试工艺,井下管柱组合:压力延时点火头+射孔枪+压力延时自动丢枪装置+玻璃盘接头+纵向减震器+RTTS 封隔器+安全接头+震击器+RD 单相取样阀+存储压力计+液压旁通+LPR-N 阀+OMNI 阀+RD 循环阀(有球)+RD 取样阀+165.1 mm 钻铤+同位素接头+RD 循环阀(无球)+伸缩接头+127.0 mm 钻杆+保温管+螺杆泵泵筒+保温管+127.0 mm 钻杆,管柱图如图 5 所示。

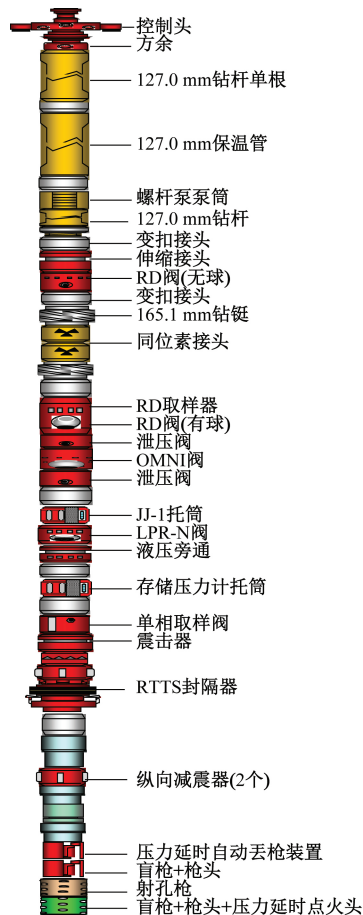


图 5 测试管串示意图

Fig.5 Diagram of test string

测试地面工艺系统包括:控制头,地面安全阀,油嘴管汇,加热器,分离器,计量罐,原油和天然气燃烧及处理系统。地面流程采用蒸汽加热同心管以减少地面管线流动阻力。地面流程图如图 6 所示。

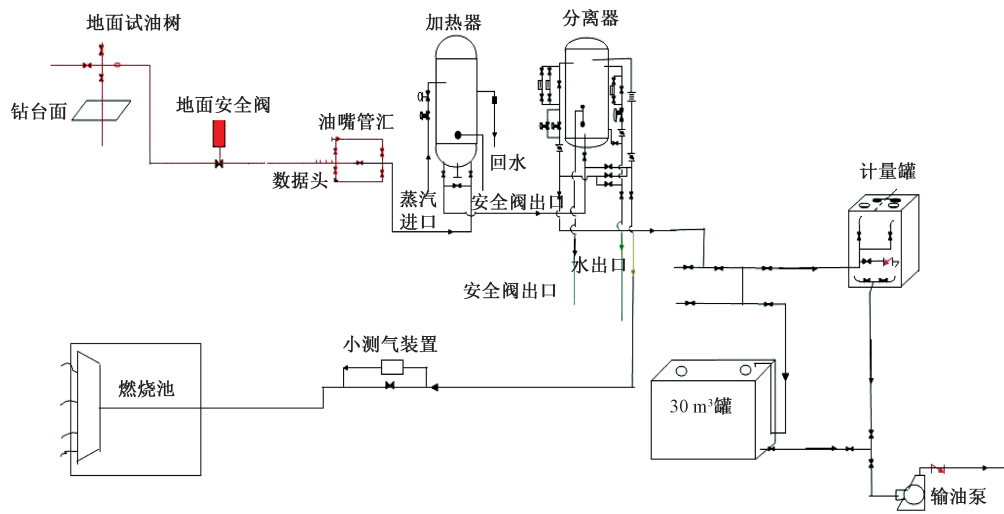


图 6 地面流程图
Fig.6 Ground flow chart

渤中 A 井储层特征:泥质含量 22.98%,孔隙度 30.62%,含水饱和度 26.59%,渗透率 752.09 mD;流体参数:原油比重为 0.966 8 (20 ℃),黏度为 585.2 mPa·s (50 ℃),原油黏温曲线如图 7 所示,凝固点 -14 ℃,含蜡量 1.77%,沥青质 5.65%,胶质 15.14%。采用 APR+PCP+TCP 射孔联作测试工艺。三开井采用螺杆泵进行求产:螺杆泵转速 180 r/min,电机电流 23 A,加热电流 100 A,油嘴敞放,控制流程进分离器,原油进计量罐计量,天然气走栈桥燃烧。分离器压力 0.202 MPa,分离器温度 60.4 ℃,平均日产油 86.04 m³、日产气 2 326 m³,气油比 27,含水率 0%、含砂率 0%。求产数据图如图 8 所示。

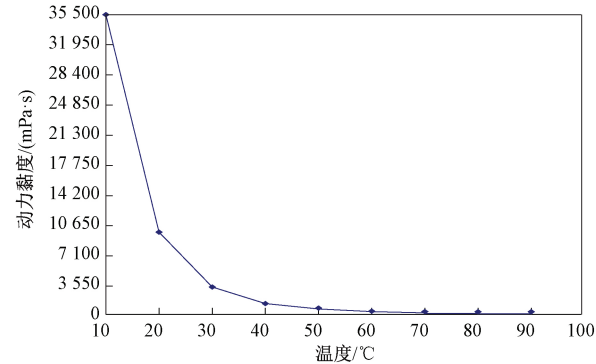


图 7 渤中 A 井原油黏温曲线图
Fig.7 Curve of viscosity and temperature for crude oil in Bozhong Well A

渤中 B 井储层特征:泥质含量 7.1%~7.4%,孔隙度 22.7%~26.6%,含水饱和度 50.1%~53.5%,渗透率 200.8~412.8 mD;流体参数:原油比重为 0.968 3 (20 ℃),黏度为 1 259 mPa·s (50 ℃),凝固点 8 ℃,含蜡量 8.04%,沥青质 12.25%,胶质 15.09%。采用

APR+PCP+TCP 射孔联作测试工艺。四开采用螺杆泵进行求产:螺杆泵转速 125 r/min,电机电流 23~25 A,加热电流 80~90 A,油嘴敞放,控制流程进分离器,原油进计量罐计量,天然气走栈桥燃烧。分离器压力 0.454 MPa,分离器温度 92.8 ℃,平均日产油 72.72 m³、日产气 1 730 m³,气油比 24,微量含水,微量含砂。求产数据图如图 9 所示。

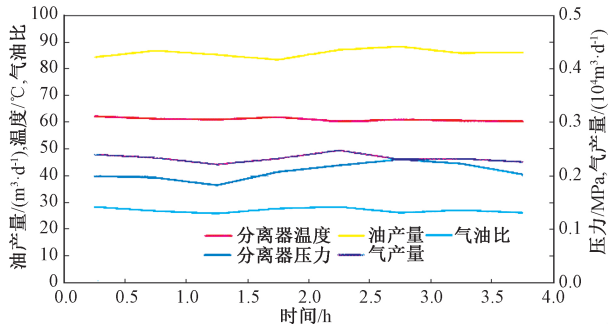


图 8 渤中 A 井螺杆泵转速 180 r/min 求产数据图
Fig.8 Production data chart of Bozhong Well A when the screw pump speed is 180 r/min

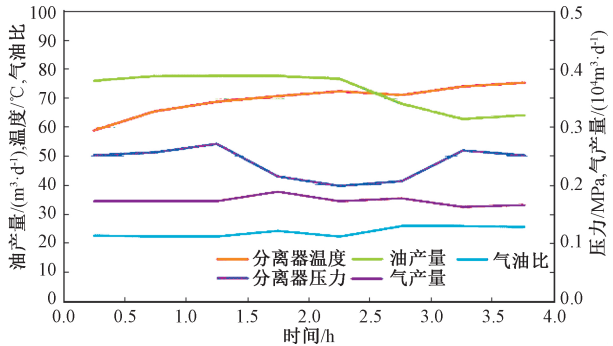


图 9 渤中 B 井螺杆泵转速 125 r/min 求产数据图
Fig.9 Production data chart of Bozhong Well B when the screw pump speed is 125 r/min

渤中 C 井储层特征:泥质含量 3.61%,孔隙度 33.62%,含水饱和度 23.01%,渗透率 444.54 mD;流体参数:原油比重 0.983 3 (20℃),黏度 2 787 mPa·s (50℃),原油黏温曲线如图 10 所示,凝固点 0℃,含蜡量 1.77%,沥青质 9.79%,胶质 21.59%。采用 APR+PCP+TCP 射孔联作测试工艺。四开采用螺杆泵进行求产:螺杆泵转速 120 r/min,电机电流 20~21 A,加热电流 60~100 A,油嘴敞放,控制流程进分离器,原油进计量罐计量,天然气走栈桥燃烧。平均日产油 64.14 m³、日产气 1 230 m³,气油比 19,含水 0,含砂 0。求产数据图如图 11 所示。

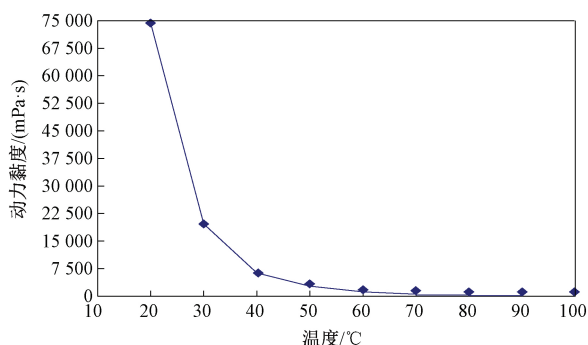


图 10 渤中 C 井原油黏温曲线图

Fig.10 Curve of viscosity and temperature for crude oil in Bozhong Well C

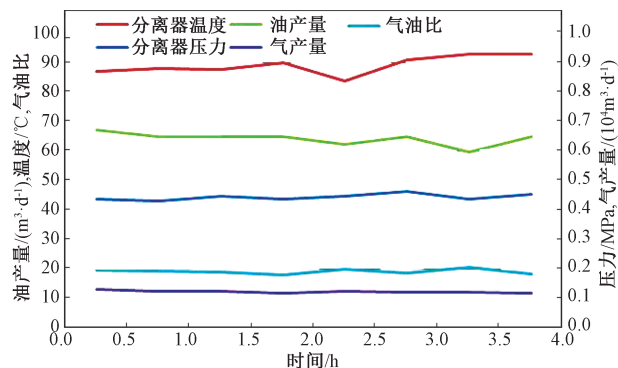


图 11 渤中 C 井螺杆泵转速 120 r/min 求产数据图

Fig.11 Production data chart of Bozhong Well C when the screw pump speed is 120 r/min

渤中 3 口井的成功应用验证了该技术的可行性,有效的突破渤海油田稠油测试面临的技术瓶颈。之后在曹妃甸、垦利、蓬莱等区块推广使用,相继应用精准计量设备,均成功实现了稠油油气的计量,精确地计算出了气油比,为多个区块稠油油藏的精确评价提供了数据支持。

3 结论

通过对分离器及计量罐进行技术改造创新,解

决了稠油油气准确计量难的难题,准确落实地层油气产能,取得了良好的应用效果,具有较高的经济效益及推广价值。

(1)解决了稠油精确计量技术难题,计量井最高黏度达到了 2 787 mPa·s (50℃),实现了高黏度稠油精确计量。

(2)为海上稠油油田探井测试开辟了新思路,为新发现稠油油田储量确定及有效动用和产能释放探索了新工艺。

(3)为已有设备的改造提供了思路 and 方向,使设备越来越完善,在质量得到保证的前提下节约成本。

(4)解决了稠油油气准确计量难的难题,准确落实地层油气产能,解放了大规模的地质储量,具有较高的经济效益。

致谢:感谢国家重大专项“海上稠油热采技术”的资助。

参考文献

- [1] 谭忠健,刘振江,周宝锁. 渤海油田探井稠油测试技术 [M]. 北京:石油工业出版社,2016:1-26.
- [2] 张艳,邓雄,羊东明,等. 重质起泡稠油分离计量中存在的问题及解决措施探讨[J]. 化工管理,2014,11(3): 92-94.
- [3] ZHANG Yan, DENG Xiong, YANG Dongming, et al. Discussion on the problems and solutions of heavy foaming heavy oil separation and metering[J]. Chemical Enterprise Management, 2014, 11(3): 92-94.
- [4] 胡广杰,文军红. 液相含气率对起泡稠油计量的误差分析及对策[J]. 计量技术,2004(6): 55-56.
- [5] HU Guangjie, WEN Junhong. Error analysis and counter-measures of liquid gas holdup for blister heavy oil metering [J]. Measurement Technique, 2004(6): 55-56.
- [6] 卢中原,谭忠健,许峰,等. 渤海油田稠油测试井智能双频加热降黏技术[J]. 油气井测试,2018,27(6): 27-32.
- [7] LU Zhongyuan, TAN Zhongjian, XU Feng, et al. Intelligent dual frequency heating and viscosity reduction technology for heavy oil test wells in Bohai Oilfield [J]. Well Testing, 2018, 27(6): 27-32.
- [8] 孙婧,王春升,尚超,等. 海上油田稠油单井计量方案选择[J]. 石油规划设计,2018,29(3): 17-21.
- [9] SUN Jing, WANG Chunsheng, SHANG Chao, et al. The choice of metering plans for offshore heavy oil well [J]. Petroleum Planning & Engineering, 2018, 29(3): 17-21.
- [10] 刘昕宇,张春娥,周晓艳. 新型计量系统在海上油田的应用[J]. 油气田地面工程,2012,31(3): 12-13.
- [11] LIU Xinyu, ZHANG Chun'e, ZHOU Xiaoyan. Application of new metering system in offshore oilfield [J]. Oil-Gasfield

- Surface Engineering, 2012,31(3):12-13.
- [7] 王学风,张志杰,孙昕,等. 磁致伸缩测量仪[J]. 物理实验,2013,33(3):14-17,20.
WANG Xuefeng, ZHANG Zhijie, SUN Xin, et al. Magnetostrictive apparatus [J]. Physics Experimentation, 2013, 33(3):14-17,20.
- [8] 万志鹏,陈鑫. 磁浮子翻板液位计的改造[J]. 聚氯乙烯,2012,40(8):30-31.
WAN Zhipeng, CHEN Xin. Modification of magnetic-floater flap liquid level meter [J]. Polyvinyl Chloride, 2012, 40(8):30-31.
- [9] 周恒. 分离器气泡分离计算模型[J]. 油气田地面工程, 2018,37(5):26-29.
ZHOU Heng. Bubble separation calculation model of the separator [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2018,37(5):26-29.
- [10] 胡锦,王淑娟,彭磊,等. 我国气田用分离设备类型简介及选用原则[J]. 广东化工,2014,41(4):77,71.
HU Jin, WANG Shujuan, PENG Lei, et al. Introduction and choose principle of separator equipment used in gas field in China [J]. Guangdong Chemical Industry, 2014, 41(4):77,71.
- [11] 岳国斌,李梦菲,贺爱群,等. 高效三相分离器现场应用效果分析[J]. 中国石油和化工标准与质量,2013,34(1):73.
YUE Guobin, LI Mengfei, HE Aiqun, et al. Field application effect analysis of high efficiency three-phase separator [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2013,34(1):73.
- [12] 曹少保,郝明辉,高飞. 提高海上油田单井计量水平 加快实现率先发展[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2013,34(1):143.
CAO Shaobao, HAO Minghui, GAO Fei. Improving single well metering level in offshore oilfields and speeding up the first development [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2013,34(1):143.
- [13] 李娜. 浅谈提高分离器计量精准度[J]. 化工管理, 2013(12):157.
LI Na. Discussion on improving accuracy of separator metering [J]. Chemical Enterprise Management, 2013(12):157.
- [14] 黄垚,杨帮贵. 高产气井测试地面分离器选型[J]. 油气田地面工程,2011,30(6):18-19.
HUANG Yao, YANG Banggui. Selection of ground separator for high production gas well testing [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2011,30(6):18-19.
- [15] 刘玉涛,罗海英,刘河江,等. 油气井地面测试中分离器分离效果监测新思路[J]. 天然气技术与经济, 2011,5(3):50-53.
LIU Yutao, LUO Haiying, LIU Hejiang, et al. An innovation to monitor separation effect of separator during well testing [J]. Natural Gas Technology and Economy, 2011,5(3):50-53.
- [16] 李茂光. 三相高效分离器的应用[J]. 中国石油和化工标准与质量,2012,32(1):112.
LI Maoguang. Application of three phase high efficiency separator [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2012,32(1):112.
- [17] 孙文寿,王高升. 旋流板分离器的结构对三维流场的影响[J]. 化工学报,2006,57(6):1334-1338.
SUN Wenshou, WANG Gaosheng. Effects of structure of rotating stream tray separator on its three dimensional flow field [J]. Journal of Chemical Industry and Engineering (China), 2006,57(6):1334-1338.
- [18] 孙文寿,王高升. 两种旋流板分离器压降和分离性能的对比[J]. 化学工业与工程,2007,24(1):56-59.
SUN Wenshou, WANG Gaosheng. Comparisons of pressure drop and separation performance between two rotating-stream tray separators [J]. Chemical Industry and Engineering, 2007,24(1):56-59.
- [19] 唐晶,张晓辉,王红艳. 分离器结构的改进[J]. 一重技术,2000(2):17-18.
TANG Jing, ZHANG Xiaohui, WANG Hongyan. Improvement of separator structure [J]. CFHI Technology, 2000(2):17-18.
- [20] 张继禄,何同. 油气分离器的改造[J]. 油田地面工程, 1993(5):30-31.
ZHANG Jilu, HE Tong. Retrofit of oil and gas separator [J]. Oil-Gasfield Surface Engineering, 1993(5):30-31.
- [21] 宋驰. 简析三相旋流式分离器的基本性能指标[J]. 云南化工,2018,45(1):235.
SONG Chi. Brief analysis of basic performance indexes of three phase cyclone separator [J]. Yunnan Chemical Technology, 2018,45(1):235.

编辑 刘述忍

第一作者简介:王雪飞,男,1984年出生,工程师,2007年毕业于长江大学资源勘查工程专业,现主要从事海上油田试油技术研究以及现场管理工作。电话:022-66502127,13502096041;Email:wangxf3@cnoc.com.cn。通信地址:天津市滨海新区海川路2121号渤海石油管理局C座606,邮政编码:300459。