

双空心抽油杆螺杆泵热采试油技术

文宏武,王靖淇,刘萍,卢献玮,任永宏,张洪亮

中国石油集团渤海钻探工程有限公司油气井测试分公司 河北廊坊 065007

通讯作者:Email:2900954096@qq.com

项目支持:中国石油集团渤海钻探工程有限公司 2017 年重大研发项目“复杂油气井动态测试技术研究”(2017ZD02K)

引用:文宏武,王靖淇,刘萍,等. 双空心抽油杆螺杆泵热采试油技术[J]. 油气井测试, 2018, 27(5):24-30.

Cite: WEN Hongwu, WANG Jingqi, LIU Ping, et al. Screw pump thermal recovery test technology driven by double hollow sucker rod [J]. Well Testing, 2018, 27(5):24-30.

摘要 高稠、高黏、高含蜡的稠油井逐年增加,对现有的螺杆泵热采试油系统提出了更高的要求,急需对螺杆泵进行优化来满足稠油井试油的施工需求。双空心抽油杆螺杆泵试油系统使用双空心电磁水循环加热系统对井底稠油进行恒温加热,使用 37 kW 变频直驱驱动头进行井口驱动,使用 Viton 氟橡胶制作泵筒内衬和转子。该系统在华北、冀东、内蒙等多个地域成功实施了 20 余口稠油井的热采试油,其中留 XX 井原油黏度最高达到 35 615 mPa·s(50℃条件下),取得了真实、准确的液性、产量资料。该设备提高了螺杆泵加热效率和举升能力,能够快速、准确的求取地层产出液的液性和产量,解决了国内低产稠油井排液测试的难题。

关键词 试油;热采;稠油;直驱驱动;双空心抽油杆;水循环;氟橡胶

中图分类号:TE353 **文献标识码**:B **DOI**:10.19680/j.cnki.1004-4388.2018.05.005

Screw pump thermal recovery test technology driven by double hollow sucker rod

WEN Hongwu, WANG Jingqi, LIU Ping, LU Xianwei, REN Yonghong, ZHANG Hongliang

Well Testing Branch of CNPC Bohai Drilling Engineering Company Limited, Langfang, Hebei 065007, China

Abstract: The number of heavy oil wells with high-viscosity and high-wax-containing is increasing year by year, which puts higher requirements on the existing screw pump thermal recovery test system. It is urgent to optimize the screw pump to meet the construction needs of testing in heavy oil wells. Screw pump test system driven by the double hollow sucker rod uses double hollow electromagnetic water circulation heating system to heat the heavy oil at the bottom of the well, uses 37 kW variable frequency drive for wellhead drive, and uses Viton fluorine rubber to make pump liner and rotor. The system successfully implemented more than 20 heavy oil wells in Huabei, Jidong, Inner Mongolia and other regions. Taking the well Liu XX as an example, its crude oil viscosity can reach up to 35 615 mPa·s (at 50℃), but the accurate fluid properties and production data are still obtained. This device improves the heating efficiency and lifting capacity, which can obtain the fluid properties and production data quickly and accurately and solve the problem of the flowing back and testing of low-production heavy oil well at home

Keywords: well testing;thermal recovery;heavy oil;direct drive;double hollow sucker rod;water circulation;fluorine rubber

在华北、大港、冀东、内蒙古等国内诸多的中低孔渗油田勘探开发过程中,稠油低产井比例逐年增高。在常规试油测试中,产量低、高凝、高黏、高含蜡的稠油井最为困难,如何能够高效、准确的对稠油井进行测试,是油田公司亟待解决的技术难题^[1-2]。

1930 年 5 月,法国的工程师雷涅·摩伊诺(Mou-neau)发明了世界第一台单螺杆泵^[3]。1989 年,湖北石首水泵厂引进原捷克斯洛伐克西格玛公司的单螺杆泵制造技术及空心杆压制单螺杆泵转子设备^[4]。上世纪 70 年代初期,螺杆泵率先在前苏联用

于采油行业^[5],后推广至俄罗斯、美国、法国、加拿大、印尼等国家^[6]。经多年的研制和改进,2010 年俄罗斯制造的小排量螺杆泵最长可持续近三年不间断井下采油,螺杆泵试油在高黏度稠油井中泵效可达 70%以上,无机械故障持续工作时间长达 340 天^[7]。乌发石油学院研制了一种特殊的螺杆泵设备,该设备可以在不同试油条件变化时自动调节转速,调节范围控制在 4~100 r/min 之间。当泵筒淹没度高时自动提高转速,可提高泵效;在泵筒淹没度低时,自动降低旋转频率,减少旋转引起的杆柱

表面摩阻,防止断杆事故的发生。美国作为石油行业的先行者,在螺杆泵试油行业有着独特的设计^[8]。Huber公司研制了一种自动旋转引入式抽油杆导向器,它由高分子聚乙烯材料制造,安装在抽油杆转子前端,可以有效的降低抽油杆下入油管中水力造成的摩阻扭矩,避免在旋转过程中和泵筒内衬相互卡死。Highland公司研制出大排量螺杆泵,其排量为普通螺杆泵的数倍,分别达到 $318\text{ m}^3/\text{d}$ 、 $477\text{ m}^3/\text{d}$ 、 $636\text{ m}^3/\text{d}$ 。美国BMW泵公司研制出一种转子外径仅有 5.78 cm 的螺杆泵,其排量为 $119\text{ m}^3/\text{d}$ 、 $56\text{ m}^3/\text{d}$ 。

螺杆泵试油技术在中国起步较晚,大庆油田是中国使用螺杆泵试油最早的油田^[9-10],在上世纪90年代初就已经开始螺杆泵设备的研制工作,早期因技术不足,使用经验有限、材质质量较差、配套工艺不完善等诸多因素,生产出的螺杆泵在使用过程中经常发生断杆、脱杆、脱胶等现象,现场机械故障不断,螺杆泵使用寿命短^[11]。到上世纪90年代中期,大庆油田螺杆泵研制小组进行了3次大范围的螺杆泵改造优化设计,制作出GLB40-42和GLB75-40型螺杆泵设备,完成了10余口井的施工,效果显著提高,使用寿命显著增长。到本世纪初,又经过数次的改造,对螺杆泵的举升能力、清防蜡和测压问题进行了改进,扬程、排量、安全性、使用寿命均已达到较高的水平,已经开始在该油田大范围的推广和使用。

1990年,螺杆泵逐步应用于采油行业,针对油气田开采的需求,各大螺杆泵厂家对螺杆泵进行了优化改造,新式的螺杆泵设备更有利于油井的开采^[12-13]。2000年,螺杆泵厂家将加热技术加入到螺杆泵设备中,开始对稠油井进行热采试采施工,效果良好。2005年以后,随着螺杆泵采油工艺在石油行业大范围应用,对螺杆泵设备进行多次改良,螺杆泵试油设备开始制造和使用。对一些难开采油井开始使用螺杆泵热采进行试油施工,取得了真实的地层液性和产量^[14],螺杆泵热采试油得到了石油行业的认可,开始在全国范围内大范围使用。

Hsieh C. F.等^[14]改进了爪式转子的外形,改善了气体密封并减少了交叉污染。李鑫^[15]基于数值计算方法对井下设备中的密封环泄漏预测计算方法进行了研究,建立了井下设备静密封环泄漏预测模型。赵仲浩^[16]对双螺杆泵螺杆转子型线和涡轮马达叶片型线进行了分析研究,开发了水力驱动井

下双螺杆泵。王哲等^[17]实验考察了潜油螺杆泵定子丁橡胶和氯橡胶与转子45#钢配副在干摩擦条件下的磨损行为,发现了高载荷时NBR磨损机制表现为黏着磨损。Villasante J. A.等^[18]针对API 11B标准常规固体抽油杆的限制和缺点开发出一系列名为“空心抽油杆”的产品及配套技术。

螺杆泵试油设备针对高黏度原油有很好的试油效果,随着合成橡胶、合成金属、无缝衔接等技术的发展,对现有螺杆泵设备的优化和改进也在快速发展^[19-20]。螺杆泵试油工艺日益完善和成熟,各大油田均对螺杆泵进行了优化设计,螺杆泵及其配套设备科技含量得到显著提高,并且螺杆泵试油工艺和管理水平也有一定提升,配套设施也逐步完善。近年来,随着螺杆泵测试试油工作量的不断扩大,施工中遇到的井况更加复杂;高稠、高黏、高含蜡的稠油逐年增加,对现有的螺杆泵热采试油系统提出了更高的要求^[21]。针对螺杆泵设备和工艺上存在的问题,在原有螺杆泵设备的基础上,利用现有的加工工艺与设计手段,设计出一套加热效率更高、施工更加简便、设备更加稳定、节能安全环保的双空心抽油杆螺杆泵热采试油系统,该系统中独特的水循环加热系统、变频直驱驱动头、双空心抽油杆和Viton氟橡胶的应用成功解决了复杂稠油井试油的难题。

1 双空心抽油杆螺杆泵热采试油系统结构和优化设计

螺杆泵试油系统如图1所示。该试油系统通常由井口驱动头、电控柜、光杆、转子、泵筒、封隔器、筛管等组成。双空心抽油杆螺杆泵由三大系统组成:(1)加热系统,包括电磁加热器、加热控制柜、注入泵、双空心抽油杆、储水罐等;(2)井口驱动系统,包括变频直驱驱动电机、专用井口防喷器、井口动密封、方卡子、支撑架等;(3)井下系统:包括螺杆泵泵筒、转子、扶正器、光杆、抽油杆防倒转装置、防抽空装置等。其工作原理:泵筒为内双螺旋槽,其直径或最小宽度与转子直径相同,泵筒轴与转子轴间存在偏心距。当转子在外力作用下在泵筒内转动时产生两个运动:一个是转子绕其轴R-R'为中心以角速度 ω 转动,一个是泵筒轴围绕转子轴S-S'向相反的方向转动。当螺杆泵在井筒液中工作时,地层流体随着泵的吸入作用,产生压力将其压入螺杆泵抽油杆和油管中的环空,并随着螺杆泵的旋转轴向移动,流体随之举升至井口排出地面。

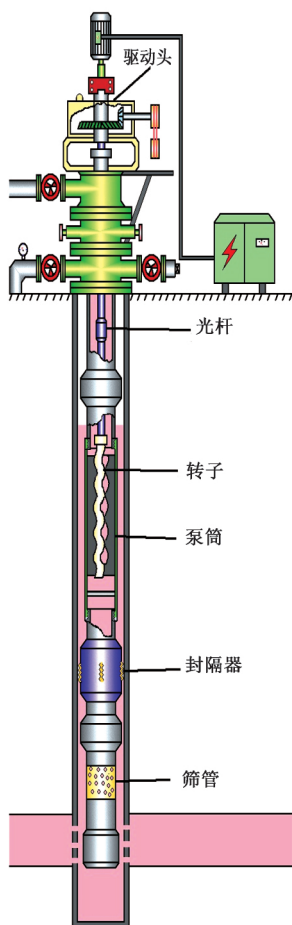


图 1 螺杆泵试油管柱示意图

Fig.1 Schematic diagram of the screw pump testing string

1.1 双空心抽油杆优化设计

双空心抽油杆是该螺杆泵热采试油设备的重要组成部分,它将地面直驱驱动头产生的动力旋转传递至井下转子,使得转子在泵筒内进行旋转,产生多个密闭上行流体容积,形成持续的抽汲运动,将地层产出物举升至井口排出。双空心抽油杆的内部通路如图 2 所示。由图 2 可见,双空心抽油杆就是在普通 42 mm 空心抽油杆的腔内又增加了一个 25 mm 独立的空心通道,内扣无缝密封使两个通道形成了独立的闭路循环系统,与外部完全隔离,从而达到了井筒加热目的。抽油杆的施工寿命和疲劳强度影响了整个双空心抽油杆螺杆泵试油系统的施工周期。

双空心抽油杆是采用厚壁无缝钢管加工而成,由双道“O”型圈密封,使用 API-11B 螺纹连接,增强了抗拉力,杆体外径 42 mm、接箍外径 59 mm,内管外径 25 mm,此杆抗拉强度大,施工过程中所遵循的操作规程与其它空心抽油杆无异,安装简单、操作方便、反复使用性强。

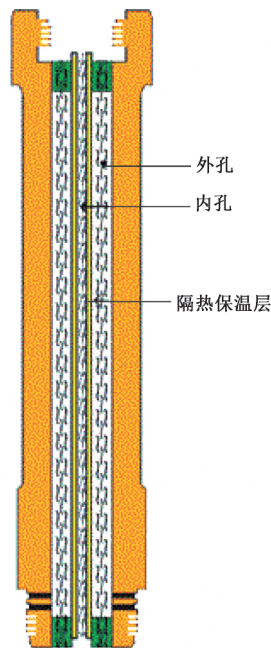


图 2 双空心抽油杆井筒加热系统示意图

Fig.2 Schematic diagram of the wellbore heating system of the double hollow sucker rod

1.2 驱动头优化设计

双空心抽油杆螺杆泵井口驱动系统是螺杆泵试油工艺的重要地面设备,主要由动力源、控制系统、传动部分、光杆固定部分、井口密封部分组成。

直驱电机是井口驱动系统的核心设备,由电机和空心轴结构的电机轴两部分构成。电机由三相绕组和铁芯组成。螺杆泵的光杆从直驱驱动头中间的空心轴孔内穿过、由两个不同方向的方卡子固定在直驱驱动头顶部,从而使得光杆和电机轴刚性连接,进行扭矩传递。螺杆泵直驱驱动头采用低速大转矩 37 kW 永磁同步电动机作为驱动核心,由变频器供电和控制。密封部分采用 V 型盘根,试验压力达到 7 MPa。传动部分无齿轮、皮带等传动部件,具有较高的启动转矩和过载能力,过载能力可达额定力矩的 300%,可完全满足启动要求。

采用变频直驱式螺杆泵驱动装置(图 3),在传统机械传动的基础上,去掉了动力皮带传动装置,采用变频立式空心轴 37 kW 电机直接带动螺杆泵的空心光杆旋转。系统主要由盘根盒防护罩、方卡子总成、直驱电机、支架、底座、变频控制柜组成。盘根盒防护罩主要保护动密封部分、方卡子总成的正常运转;方卡子总成连接空心抽油杆和直驱驱动头,支撑固定抽油杆,防止抽油杆下滑;直驱电机是动力核心,电机功率 37 kW,可驱动抽油杆进行旋转工作;机械密封为 2 层金属密封垫和 4 层聚四氟乙

烯密封垫组合而成,承压 7 MPa,防止产出物在排出井口的过程中进入电机;底座与下端螺杆泵专用井口相连,由 4 条螺栓固定直驱驱动头与专用井口。

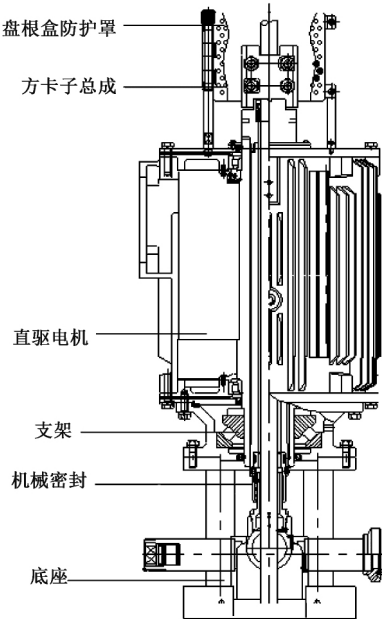


图 3 直驱驱动头结构图
Fig.3 Structure diagram of the direct drive head

双空心抽油杆螺杆泵井口驱动系统优化后具有以下优点:

- (1)采用新式变频直驱驱动头比皮带侧驱驱动头性能更加稳定、机械损坏率低;
- (2)驱动头重心在中心线上,安装更加简便,对驱动杆损伤较小;
- (3)配有欠载、过载保护功能,出现紧急情况可立刻切断电源,施工更加安全。

1.3 井下泵筒内衬、转子材质的选取

普通螺杆泵使用普通橡胶衬套,耐温仅 90 ℃,致使热采不能采用高温加热的方式,使螺杆泵在热采方面的应用受到很大限制。如何提高螺杆泵的受热温度,主要取决于其核心高温橡胶的研制。通过实验验证,稠油热采对橡胶的耐温至少为 150 ℃以上,普通的丁腈橡胶在 90 ℃以下物理机械性能稳定,是螺杆泵的理想衬套材料。超过 120 ℃时,普通的丁腈橡胶物理机械性能急速下降。在标准油 120 ℃条件下实验,拉伸强度几乎没有,扯断伸长率为零,说明其完全老化。氟橡胶是即耐油又耐高温的橡胶材料,在 250 ℃高温下其拉伸强度、扯断伸长率没有明显变化,耐磨性能好^[21]。

为了保证螺杆泵在不同井况不同油质中的使用效果,专门进行了泵筒、转子的橡胶实验。泵筒

注胶使用法国进口注胶设备,泵筒胶质均匀无缺陷,保证了设备质量和使用寿命。

实验发现,Viton 氟橡胶在井下高温、高压环境下的使用寿命、抗变形能力远远高于普通丁腈橡胶。在实验室模拟 170 ℃、70 MPa 环境下进行实验,Viton 氟橡胶在 1 500 h 后依然保持弹性,具有优越的压缩变形性能。Viton 氟橡胶在具有 H₂S 等腐蚀液体的原油中浸泡 1 500 h,只有轻微渗入,相对于其他大多数的橡胶,渗透性很低,耐油、耐化学品性能相对较高。并且在实验中发现,Viton 氟橡胶具有良好的耐光、耐氧化、耐油、耐腐蚀、耐霉菌等性能,具有很好的阻燃性能,在高温、高压的环境中可长时间进行作业,特别适用于在井下高温高压环境中使用的螺杆泵稠油热采工艺。

表 1 为 Viton 氟橡胶在不同温度条件下的疲劳时间,可在 200 ℃的高温下连续工作超过 1×10⁴h,耐热性能高。对比了 Viton 氟橡胶和其他橡胶的耐油、耐热性能,发现 Viton 氟橡胶在 250 ℃的高温下依然具有很好的耐油性,适合井下热采试油的施工要求。

表 1 氟橡胶的耐热性 Table 1 Heat resistance of fluororubber	
试验温度/℃	时间/h
204	10 000 以上
232	3 000
260	1 000
288	240
316	48

2 双空心抽油杆螺杆泵内循环电磁加热测试装置结构和加热原理

双空心抽油杆螺杆泵内循环电磁加热测试(图 4)是一种全新的稠油热采测试新工艺。

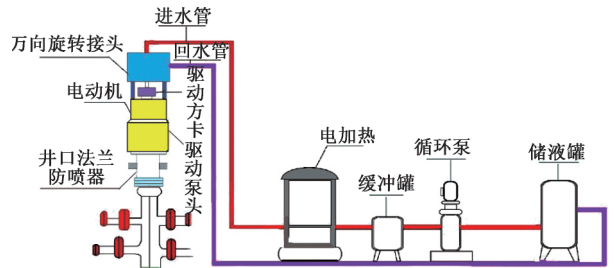


图 4 双空心抽油杆水循环加热器地面设备结构图
Fig.4 Chart of the ground equipment structure of the double hollow sucker rod water circulation heater

在稠油开采过程中,油井井筒内对产出物进行加热是一种复杂的工艺技术。以往有蒸气吞吐、掺水加温、化学降黏、电缆加热等,但在现场施工过程中都存在一定的局限性。综合考虑各项工艺技术

在螺杆泵热采试油方面的适用性,选择采用同轴双空心抽油杆内(外)循环加热技术。

双空心抽油杆螺杆泵加热原理是通过循环水泵把热载体介质加压,电磁加热可以将管内循环水加热至 80~130 ℃,从而有效的加热产出液,通过热水管线流经双空心抽油杆万向转换接头,将动力液导入双空心抽油杆管内循环通道,然后乏力液返回地面储水罐形成一个循环,因双空心抽油杆循环利用多种能源,节约了大量的电能,安全环保。

双空心抽油杆螺杆泵加热系统采用电磁加热

原理:由两个高频电磁器同时工作,高压电流通过电磁线圈,在管壁内形成电磁涡流,将装有热载体的管壁加热,升温后的热载体通过注入泵打压循环。

3 实例分析

经过两年的现场应用,先后完成了华北、冀东、内蒙等多个地域的 20 余口井的热采试油施工(表 2),取得了真实、准确的液性、产量资料,成功将高黏稠、高含蜡、流动性差的原油加热后排出,解决了稠油井试油的难题。

表 2 施工井资料
Table 2 Information of construction wells

年份	井号	泵挂深度 /m	黏度(50 ℃) /(mPa·s)	排液量 /(m ³ ·d ⁻¹)	含水/含砂/含蜡	加热载体进 口温度/℃	加热载体出 口温度/℃	井液出口 温度/℃
2015	KLXX	883	1 036	67	含水 20%	98	65	55
2015	LDXX	871	2 016	64	含水 42%	94	60	52
2015	PLXX	964	6 340	21. 1	含水 16%~53% 含泥砂 12%~50%	96	63	53
2015	KLXX	865	62	35	含水 2. 1%	97	47	32
2015	QHDXX	862	2 642	89	含蜡 0. 36%	105	65	51
2015	庙字 XX	803	3 010	40	含水 25%	98	65	51
2015	KLXX	843	1 969	72	含水 14. 5%	120	70	56
2016	南堡 XX	1 001	6 360	20	含蜡 6. 65%	102	68	55
2016	台 XX	862	1 573	18	含蜡 5. 7%	86	56	44
2016	唐 XX	857	5 275	32	含水 24. 6%	110	62	49
2016	BZXX	890	5 561	68	含蜡 11. 3%	95	60	46
2016	晋 XX	1 100	5 036	28	含水 30%	110	70	52
2016	曹 XX	883	723	15	含水 10%	100	70	60
2016	NPXX	850	2 723	8. 78	油花	96	63	53
2016	唐 XX	900	1 560	3. 52	油	97	47	32
2016	唐 XX	700	3 541	7. 24	油	105	65	51
2016	NPXX	700	789	3. 52	油	98	65	51
2016	NPXX	844	850	17. 95	水/油花	120	70	56
2016	唐 XX	700	1 256	7. 21	油	86	56	45
2017	高 XX	850	890	3. 52	水	96	63	53
2017	NPXX	800	1 031	1. 63	油	97	47	32
2017	柳南检 XX	992	750	6. 87	水	105	65	51

3. 1. 1 留 XX 井施工概况

(1)井史概况

留 XX 井位于河北省河间市留古寺乡北王庄村东 200 m,构造位置:冀中坳陷饶阳凹陷马西洼槽马 98 井区。马 98 东断鼻圈闭沙二、三段含油性,兼探东营组、沙一上段。

(2)试油情况

试油层位:Ed³,层号:27#,电测解释为油层,试油井段 2 760. 0~2 765. 0 m,厚度 5. 0 m/1 层,102 枪,1 m 弹电缆射孔,孔密 16 孔/m,MFE 测试二开二关三开抽汲,加液垫 4. 05 m³,液垫高度 1 342. 41 m,Cl⁻含量 266 mg/L,pH=7。7 月 22 日 01:24 加压

96 kN 坐封,卡点 2 745. 34 m,MFE 深度 2 743. 25 m。一开二开期间,气泡弱,环空液面不降。

从 8 月 1~17 日经过热洗、刮削,后下“J”型封隔器,对 27#层进行常规复试,封隔器卡点 2 730. 82 m,8 月 7 日 12:30~8 日 16:00 共抽汲 56 次,抽深为 200~2 050 m,液面井口-2 000 m,共抽出油 2. 41 m³,抽出水 6. 85 m³,后分别在 850 m、800 m 和 250 m 处遇阻,加柴油 500 L 活动无效。

该井 27#层(2 760. 0~2 765. 0 m)原油相对密度(20 ℃)0. 914 2、黏度(80 ℃)18 316 mPa·s,原油黏度(50 ℃)35 615 mPa·s,凝固点 58 ℃,胶质+沥青 42. 65%,属特凝、特黏稠油,试油困难。勘探部决定

封堵20#层,对27#层进行双空心抽油杆螺杆泵热采工艺试油,8月24日~9月10日对该井27#层进行试油,9月3日00:00~6日16:00泵抽求产,转速100~120 r/min、加热电流130 A,动液面1 042 m,抽出油23.65 m³、水0.47 m³,原油含水2.0%~4.5%~1.5%,出口油温59~65℃,其中9月6日10:30测动液面1 542 m,获日产油5.73 m³,含水2%~4%。

(3) 试油结论

该井射孔层为低产低渗储层,地层液面1 042 m,螺杆泵下深1 500 m进行热采试油,油质为密度(20℃)0.914 2、黏度(80℃)18 316 mPa·s,原油黏度(50℃)35 615 mPa·s,凝固点58℃,胶质+沥青42.65%。该井属于特凝、特黏稠油井,本层采用双空心抽油杆螺杆泵热采工艺试油将原油成功排出井口,证实为油层,与电测解释相符;采用该工艺试油,取得真实的液性及产能资料,为该区块的综合评价及上交可采储量提供依据,达到螺杆泵热采试油的目的。

3.1.2 西XX井施工概况

(1) 井史概况

西XX井位于河北省石家庄境内,属于预探井,层位:Ed,测试井段:1 835.20~1 839.60 m,电测解释:油水同层。

(2) 试油情况

7月26日14:38射孔枪响,套管放压至0。15:11一开井,气泡显示由弱到一般到弱,环空液面井口。7月27日8:00用清水0.2 m³环空打压17 MPa后放压至0,一关井至7月27日11:45。16:00用清水0.2 m³反打压17 MPa后放压至0,二开井,气泡显示较弱,开井观察。19:00拆KY65-21型采油树,装SFZ12-21型防喷器。7月28日8:00下D42 mm空心杆156根,扶正短节20根,底带转子及沉淀杆一根,末根放入1.5 m,加压碰泵,下钻过程中未返液。8:00~11:00起D42 mm空心杆2根,下D42 mm空心杆短节3根2.1 m、D42 mm空心杆光杆1根,上调防冲距1.30 m,装直驱驱动头。11:00~7月29日10:00螺杆泵间隔排液8次,每次排液30 min,转速:25~38 r/min,扭矩1 400~1 600 N·m,平均电流45~58 A,出口无液体流出。16:30用清水1.5 m³灌满油管,观察液面,无变化。17:00螺杆泵试排液3次,排液时间5 min,转速35~40 r/min,排液初期出液正常,排液30 s后,扭矩从400 N·m上涨至1 600 N·m,电流从20 A上涨至

55 A,无液体排出。17:30拆电机,转子提出泵筒。用清水40 L灌满油管,观察液面,30 min漏失14 L。18:40转子放入泵筒,装电机,上调防冲距0.70 m。19:00螺杆泵试排液2次,排液时间5 min,转速35~40 r/min,排液初期出液正常,排液30 s后,扭矩从400 N·m上涨至1 600 N·m,电流从20 A上涨至55 A,无液体排出。7月30日8:00~11:00现场提出抽油杆,原管柱抽汲排液。8月1日8:00起出所有空心杆和扶正短节,带出转子及沉淀杆一根,经检查扶正短节和转子完好。8月1~5日抽汲排液,抽深1 200~1 300 m,动液面1 200 m,环空液面井口,每天抽汲12次,11次空抽,日排液0.15 m³,有油花。8日起出泵筒。

(3) 试油结论

地层供液不足,螺杆泵在举升过程中没有充足的液量补充泵筒,导致转子在泵筒内空转,扭矩、电流持续增大,无法进行正常排液,试油结果:干层。

由此可见,当地层为无产出层或极少产出层时,双空心抽油杆螺杆泵无法将井筒液举出,无法测得地层液性。

4 结论

(1)双空心抽油杆螺杆泵采用独特的双空心电磁水循环加热系统、变频直驱井口驱动系统、Viton氟橡胶材质泵筒,经过多口稠油井试油验证,整套设备性能稳定,加热效率显著提高,未发生断杆、脱扣、机械故障等事故。使用该设备对多口稠油井进行长时间热采,试油效果良好,有效的解决了高黏度稠油井试油困难的问题。

(2)双空心抽油杆螺杆泵设备通过优化改进,针对稠油井研制,目前施工井稠油最高黏度18 316 mPa·s(80℃),加热后出口流体温度为55℃,达到了很好的试油效果,取得了真实的地层液性。

(3)泵筒内衬、转子选取Viton氟橡胶材质进行制作,使泵筒和转子性能更稳定、泵效更高、使用寿命更长。

致谢:感谢渤海钻探工程有限公司油气井测试分公司同意本文公开发表;感谢杨先辉、张士川、刘士旺、张际兵、王轶超对该论文的支持和帮助。

参考文献

- [1] 付亚荣,李小永,姚庆童,等.空心抽油杆热洗清蜡节能工艺[J].石油石化节能,2014,7(1):1-2.
- FU Yarong, LI Xiaoyong, YAO Qingtong, et al. Energy-

- saving process of hot-washing and wax removal for hollow sucker rods [J]. Petrochemical Energy-Saving, 2014, 7(1):1-2.
- [2] 刘佳.改善稠油井测试工艺的方法探讨[J].中国石油和化工标准与质量, 2017,37(3):34-35.
LIU Jia. Methods to improve the testing process of heavy oil wells [J]. China Petroleum and Chemical Industry Standards and Quality, 2017,37(3):34-35.
- [3] 何希杰, 劳学苏.螺杆泵及其应用[J].通用机械, 2008, 46(4):26-29.
HE Xijie, LAO Xuesu. Screw pump and its application [J]. General Machinery, 2008,46(4):26-29.
- [4] NAKASHIMA C Y, JR S D O, CAETANO E F. Heat transfer in a twin-screw multiphase pump: thermal modeling and one application in the petroleum industry [J]. Energy, 2006,31(5):3415-3425.
- [5] 丁波, 徐太宗, 蒋玉新.空心转子螺杆泵过泵加热采油技术[J].石油矿场机械, 2006,35(S):63-65.
DING Bo, XU Taizong, JIANG Yuxin. New technology using heating hollow rotor of screw pump while liquid passing through [J]. Petroleum Field Machinery, 2006, 35(S):63-65.
- [6] 张连山.国外螺杆泵采油系统的现状与发展[J].国外石油机械, 1997,8(1):27-34.
ZHANG Lianshan. Current situation and development of foreign screw pump production system [J]. Foreign Petroleum Machinery, 1997,8(1):27-34.
- [7] 郁文正.地面驱动采油螺杆泵设计中的若干问题[J].石油规划设计, 1992,20(6):5-10.
YU Wenzheng. Some problems in the design of ground driving oil recovery screw pumps [J]. Petroleum Planning and Design, 1992,20(6):5-10.
- [8] 姚军, 薛天飞, 刘通, 等.地面驱动螺杆泵举升工艺及其应用[J].长江大学学报, 2012,9(7):80-82.
YAO Jun, XUE Tianfei, LIU Tong, et al. Lifting technology and application of ground driven screw pump [J]. Journal of Yangtze University, 2012,9(7):80-82.
- [9] PENNACCHI P, SEXTO L F. Design improvement of screw pump power sources for hydraulic elevators to reduce noise emissions [J]. Noise Control Engineering Journal, 2007, 55(2):164-171.
- [10] 高辉.螺杆泵与水力泵在水平井排液求产中的适应性分析[J].油气井测试, 2018,27(3):22-27.
GAO Hui. Adaptability analysis of screw pump and hydraulic pump during the production of horizontal wells [J]. Well Testing, 2018,27(3):22-27.
- [11] 杨永华, 郑学成, 师国臣.机械密封上置式螺杆泵地面驱动装置研制[J].石油机械, 2004,32(2):47-48.
YANG Yonghua, ZHENG Xuecheng, SHI Guochen. Development of the ground driving device of the mechanical seal screw pump [J]. China Petroleum Machinery, 2004, 32(2):47-48.
- [12] 屈文涛, 徐建宁, 彭勇, 等.地面驱动螺杆泵变频调速技术研究与应 [J]. 国外油田工程, 2007, 36(8):37-39.
QU Wentao, XU Jianning, PENG Yong, et al. The Study and application of screw pump variable frequency conversion technology [J]. Foreign Oilfield Engineering, 2007, 36(8):37-39.
- [13] 张中宝.塔河油田深抽杆式泵一体化管柱工艺[J].油气井测试, 2018,27(2):27-33.
ZHANG Zhongbao. Deep integrated rod pumping string applied in Tahe oilfield [J]. Well Testing, 2018,27(2):27-33.
- [14] HSIEH C F, HWANG Y W, FONG Z H. Study on the tooth profile for the screw claw-type pump [J]. Mechanism & Machine Theory, 2008, 43(7):812-828.
- [15] 李鑫.井下设备密封环泄漏预测计算方法研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2015.
- [16] 赵仲浩.水力驱动井下双螺杆泵设计及参数匹配[D].青岛:中国石油大学(华东), 2011.
- [17] 王哲, 王世杰, 吕晓仁.潜油螺杆泵定子橡胶摩擦磨损行为研究[J].机械设计与制造, 2014(2):163-166.
WANG Zhe, WANG Shijie, LYU Xiaoren. Research of fiction and wear for stator rubber of oil extraction progressing cavity pump [J]. Machinery Design & Manufacture, 2014(2):163-166.
- [18] VILLASANTE J A, MANTOVANO L O, ERNST H A, et al. Development of a new hollow sucker rod family for rotating pumping (progressive cavity pump systems) [J]. Journal of Petroleum Science & Engineering, 2015,134:277-289.
- [19] 王辉.井下作业螺杆泵施工技术的关键点源[J].硅谷, 2012(22):180-181.
WANG Hui. The key point of downhole operation screw pump construction technology [J]. Silicon Valley, 2012(22):180-181.
- [20] 周琦.螺杆泵采油技术在稠油开采中的应用研究[D].大庆:东北石油大学, 2015.
- [21] 李营.采油用螺杆泵定子橡胶及其性能的改进探究[J].科技创新与应用, 2016(11):109.
LI Ying. Exploration on the improvement of the stator rubber and its performance of screw pump for oil production [J]. Technology Innovation and Application, 2016(11):109.

编辑 刘述忍

第一作者简介:文宏武,男,1986年出生,硕士,2008年毕业于河北理工大学计算机科学与技术专业,现为中国石油大学(华东)石油工程专业在读工程硕士,主要从事油气井测试新工艺研究。电话:0317-2553829; Email: 25406933@qq.com。通信地址:河北省廊坊市广阳区万庄镇渤海钻探油气井测试分公司,邮政编码:065007。