

中浅层低幅度稠油油藏试油配套技术

张悦¹, 史文奇², 王皓³, 刘洋², 王爱利², 李进¹

- 1. 中国石油西南油气田分公司天然气经济研究所 四川成都 610000
- 2. 中国石油冀东油田分公司勘探开发工程事业部 河北唐山 063004
- 3. 中国石油西南油气田分公司川西北气矿 四川成都 610000

通讯作者: Email: yyjy7@ sina. cn

引用: 张悦, 史文奇, 王皓, 等. 中浅层低幅度稠油油藏试油配套技术[J]. 油气井测试, 2022, 31(1): 27-34.

Cite: ZHANG Yue, SHI Wenqi, WANG Hao, et al. Matching technology for oil testing of low amplitude heavy oil reservoir in middle and shallow formation[J]. Well Testing, 2022, 31(1): 27-34.

摘要 冀东油田马头营凸起馆陶组稠油油藏中浅层, 构造幅度低, 油层薄, 原油黏度大。该区块所钻井造斜点高、井斜大, 常规试油工艺无法满足生产需求。对射孔、测井、排液、挤注灰四项工艺深入研究, 形成了与之相适应的试油配套技术。陀螺定向射孔技术结合井深轨迹, 选择合理射孔方位, 有效避免沟通下部水层; 爬行者电缆测井技术输送测井仪器达目的层段, 完成测井采集作业; 双空心抽油杆内循环电磁加热螺杆泵排液技术通过增温循环, 解决高凝油流动难题; 挤注灰封层工艺技术提高水泥塞顶替效率。唐 XXX 井根据实际井况, 采取双空心抽油杆内循环电磁加热螺杆泵排液工艺, 排液效果显著, 获日均产油 8.12 m³; 唐 XX 井采取挤注灰封层工艺, 封层成功, 提高了油气产能。该配套技术的应用为冀东油田相似油藏勘探开发提供了借鉴。

关键词 冀东油田; 低幅度稠油油藏; 中浅层油藏; 试油工艺; 配套技术; 定向射孔; 螺杆泵排液; 挤注灰封层

中图分类号: TE353 文献标识码: B DOI: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2022.01.005

Matching technology for oil testing of low amplitude heavy oil reservoir in middle and shallow formation

ZHANG Yue¹, SHI Wenqi², WANG Hao³, LIU Yang², WANG Aili², LI Jin¹

- 1. Natural Gas Economic Research Institute, PetroChina Southwest Oil and Gas Field Company, Chengdu, Sichuan 610000, China
- 2. Exploration and Development Engineering Division, PetroChina Jidong Oilfield Company, Tangshan, Hebei 063004, China
- 3. Northwest Sichuan Gas Mine, PetroChina Southwest Oil and Gas Field Company, Chengdu, Sichuan 610000, China

Abstract: The characteristics of the heavy oil reservoir in the middle and shallow formation of Guantao Formation in Matouying uplift of Jidong Oilfield are low structural amplitude, thin reservoir and high crude oil viscosity. The wells drilled in this block have high kick off point and large deviation, which makes it difficult for the conventional oil testing process to meet the production demand. In this paper, an oil testing matching technology is formed by analyzing the four technologies of perforation, logging, liquid drainage, and cement injection deeply. Combining the gyro directional perforation technology with well depth trajectory technology can select reasonable perforation orientation to effectively avoid connecting with the lower water layer. Then, the crawler cable logging technology transports logging tools to the target formation to complete the logging acquisition. The drainage technology of double hollow rod internal circulation electromagnetic-heating progressing cavity pump solves the problem of the flow of the high pour point oil by temperature increasing circulation. Cement plugging displacement efficiency can be improved by cement injection sealing technology. According to the actual well condition, Well Tang XXX adopts the drainage technology of double hollow rod internal circulation electromagnetic-heating progressing cavity pump, which improves liquid discharge effect remarkable and the average daily oil production reaches 8.12 m³. Besides, the cement injection sealing technology was also adopted in Well Tang XX successfully, which improved the oil and gas production capacity. The application of the matching technology provides a reference for the exploration and development of similar reservoirs as Jidong Oilfield.

Keywords: Jidong Oilfield; low amplitude heavy oil reservoir; middle and shallow reservoir; oil testing process; supporting technology; directional perforation; progressing cavity pump drainage; cement injection sealing

马头营凸起是黄骅拗陷北部古近系形成的东西向展布的二级正向构造单元,北以马北断层为界,与乐亭凹陷相连;西以柏各庄断层为界,与南堡凹陷相接;南侧以红房子断层为界,与石臼坨凹陷相邻^[1]。该油藏主要受构造控制,局部受岩性控制,高部位为油,低部位是水,馆陶组油藏是层状岩性构造油藏。油藏埋深较浅,多分布在 1 200 m 至 1 800 m 之间,馆陶组储层物性较好,Ng II 储层平均孔隙度 29.5%,平均渗透率 682.0 mD,属于高孔高渗型储层;Ng III 平均孔隙度 23.9%,平均渗透率 428.2 mD,属于中孔中渗型储层。

低幅度构造是指由于构造作用或者沉积作用造成的构造闭合度小于 20 m 的地质构造。随着物探技术和地质理论的进步,低幅度构造油藏的勘探开发取得了显著效果^[2-3]。冀东油田在马头营凸起相继发现了中浅层低幅度稠油油藏,该凸起是发育在太古界花岗岩基底之上的新近系披覆背斜构造。该构造虽然规模不大,但是在有利的生储盖及油气运移条件下可能形成“小而肥”的高产油气藏^[4]。马头营凸起馆陶组为典型的低幅度构造,该油藏具有埋藏浅、构造幅度低、油层薄、原油黏度大、油水关系复杂、底水活跃、层间易串通等特点,该区块井型具有井斜大、井深较浅、造斜点高等特点。冀东油田通过对试油配套技术优化改进,解决了马头营凸起中浅层低幅度稠油油藏勘探开发的技术瓶颈,在实际生产中得到了较好的应用效果。

1 试油技术发展

我国试油技术经历了三个发展阶段^[5-6]:第一阶段,20 世纪 70 年代末期以前。我国试油技术仿照前苏联的试油工艺方法,其缺点是周期长,获取地层参数少,资料可靠性差^[7];第二阶段,20 世纪 70 年代末期到 90 年代初。我国引进了西方国家先进的地层测试技术,基本形成了满足我国油气勘探需求的试油技术,提出了科学试油系统工程概念和初步做法;第三阶段,从 20 世纪 90 年代至今。结合我国油气藏地质条件并结合实践经验,在试油测试中引入了地层测试系统及相关软件技术,如油管传输负压定向射孔系统、油气水三相分离计量系统、电缆桥塞封隔系统等^[8],特别在管柱组合和工序联作方面的不断创新完善,逐步形成了符合我国实际情况的科学试油系统工程。但随着勘探技术的不断进步,试油技术如何向智能化、一体化方向发展,更

好地解决各类复杂油气藏及特殊井况仍然引人深思。

2 试油配套技术

低幅度稠油油藏,想有效测试油气产能的相关参数,就要全面认识稠油区地层特性、地层温度压力等情况,并且对测定区域的实际情况和地质组成结构予以分析,判定其岩性和演化阶段,利用不同的工艺操作流程完成试油试采工作,保证勘探工程更加有效^[9]。常规的试油技术已无法满足勘探开发的生产需求。通过研究改进,冀东油田已形成了一系列专项技术,该项配套技术主要包括:电缆输送陀螺定向射孔技术、爬行器电缆测井技术、双空心抽油杆内循环电磁加热螺杆泵排液技术、多功能计量装置及因井制宜的挤注灰封层技术。

2.1 陀螺定向射孔技术

国内主要有两种定向射孔技术:一种是在最大井斜角小于 15°的井中通过井口转动油管实现定向射孔;另一种是在射孔段井斜角大于 25°的井中通过偏靠器自定向实现定向射孔^[10]。常规定向射孔技术在实践中有两个问题有待解决:一是采用油管传输工艺,施工效率较低;二是采用地面转动油管或依靠重力偏心配重块定向,均对井斜要求较高。“定位器定位+陀螺仪定向+电缆传输”定向射孔工艺能够较好地解决这两个问题,全程可电缆起下工具,施工效率高,单井施工周期不大于 8 h,能够满足冀东油田多数大斜度井射孔需求。同时,由于储层条件复杂多变,各种岩层的裂缝发育方向、沉积时的水流方向往往是地应力的最大方向,其渗透性远远好于其他方向。因此,沿着裂缝方位或地层最大主应力的方向进行定向射孔,可以有效降低井口施工压力,提高油气产能。如果施工井附近存在断层、地层存在天然裂缝要与射孔孔眼沟通等特殊情况下,该技术可成为有效的辅助手段。

2.1.1 面临的问题

受周边复杂环境影响(盐池、养殖),马头营区块所钻井多为大斜度定向井,井斜一般大于 60°,受井斜的影响,有效的遮挡层更为薄弱,在较大压差作用下,底边水推进速度更快。该区块油藏幅度较低,构造相对平缓,闭合幅度约 15 m 左右,油层薄,油层厚度仅 1~4 m,且油水关系较为复杂。在大斜度井中进行射孔作业,传统的射孔工艺对储层层间、层内干扰较大,易射穿水层导致底水上窜。常

规油管输送定向射孔工艺应用范围窄,一般仅能适用于井斜角小于 25° 的定向井中。为解决上述问题,制定了陀螺定向射孔技术。

2.1.2 陀螺定向射孔工作原理

定向射孔技术主要用来沿最大主应力方向射孔,以降低地层破裂压力和裂缝弯曲摩阻^[11]。陀螺定向射孔的技术,定向方法一般分为外定向和内定向两种。外定向方案是采用枪身外焊翼翅,配合转动接头,靠翼翅与井壁摩擦阻力不平衡,在偏心重力作用下实现枪串的整体转动来进行射孔定位如图1所示。内定向方案是在枪身内采用弹架偏心设置或加配重块方式,配合偏心支撑体,在偏心重力作用下弹架旋转实现每根枪射孔定位如图2所示。

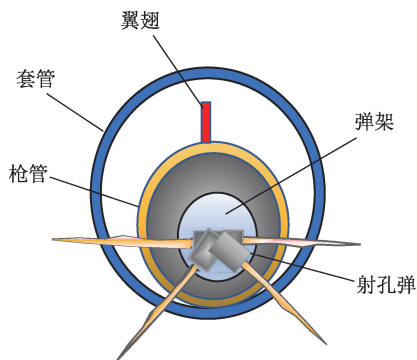


图1 外定向射孔方式示意图

Fig. 1 Schematic diagram of external directional perforation mode

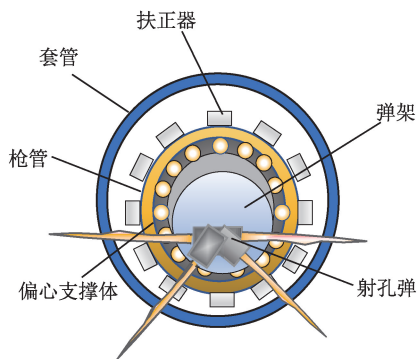


图2 内定向射孔方式示意图

Fig. 2 Schematic diagram of internal directional perforation mode

2.1.3 解决的主要问题

针对大斜度井、水平井射孔作业,通常采用油管、电缆或钻具将射孔器输送至目的层,在高角度和水平井段上,采用井下定位射孔技术来保障精准的射孔方位,通过计算表明,内定向方式精度高于外定向方式。为有效实现长井段大斜度井水平井射孔作业,一般采用分段延时起爆、隧道逐级传爆技术,将长射孔段分成独立的几段,每段首尾各安

装一个压力延时起爆器,确保可靠起爆。延时起爆器设置一个压力等级,由于起爆器延时时间的差异,各段射孔枪将在不同时间起爆射孔。针对水平井作业,射孔方向一般都采用低平方向,即水平两侧,使射孔后沿孔眼展开的裂缝始终在储层内延伸,解决了顶部落砂跨塌和底水突进的问题。

陀螺定向射孔方式通过结合井深轨迹,选择合理射孔方位,有效避免沟通下部水层,根据固井情况,有效避开胶结较差井段。同时,沿地层最大主应力的方向进行定向射孔,能有效降低井口施工压力,从而提高油气产能。通过优化产液剖面,达到水平井段均匀动用,延缓底水脊进,达到提高单井采收率的目的,为后续增产措施创了造孔道条件。

2.2 爬行器电缆测井技术

井下爬行器作为套管大斜度井、水平井生产测井专用下井工具,采用常规测井电缆将爬行器和校深仪器共同连接。在大斜度井、水平井测井中,可通过爬行器输送测井仪器达目的层段,将缆心切换至测井仪器,利用测井地面系统及测井绞车上提电缆完成测井采集作业。从而达到录取测井资料,了解固井质量、注入与产出状况,剩余油分布情况及套管损伤的目的。

2.2.1 面临的问题

冀东油田大部分采用小直径完井井身结构,生产时测试仪器难以下入井内,大斜度井、水平井产出剖面测试存在相当大的难度,因此需要采取多种手段结合的方式进行找水^[12]。在井斜大于 45° 的情况下,仅依靠电缆无法将测井仪器下至目的层位,在大井斜超长井段进行校深时需分段进行,增加了误差概率,传统测井工艺无法在井斜大于 45° 的情况下完成碳氧比测试、硼中子找水等生产测井任务。

2.2.2 工作原理

爬行器是一个自成一体的独立系统,包含井下设备和地面控制器两部分,与测井绞车配合即可^[13]。把井下仪器下到遇阻位置,然后给爬行器供电,控制爬行器向前移动,推(或拉)送井下仪器到井底时切断爬行器电源,给下井仪器供电,上提电缆进行测井,根据测井情况可以多次重复测量。爬行器是套管水平井及大斜度井井下设备输送工具。

2.2.3 解决的主要问题

在井斜较大的情况下,仪器无法仅依靠自重下入到预定位置,通过爬行器来完成生产测试任务。与传统钻具传输相比,爬行器测井工艺施工节约了

大量作业时间,与连续油管输送方式相比,爬行器测井的成本更低,同时地面可实时监测测井资料和仪器状态。但爬行器也有自身局限性,每节驱动的动力有限,在上翘井眼,爬行器输送仪器到目的层深度比较困难。因此,爬行器传输测井工艺更适用于下侵井眼中。

2.3 双空心抽油杆内循环电磁加热螺杆泵排液技术

在冀东油田稠油低产井比例逐年增高,常规试油排液方式对高凝、高黏、高含蜡的稠油井较为困难,如何能够高效、准确的对稠油井进行排液求产,是亟待解决的技术难题^[14-15]。马头营地区储层原油沥青质、胶质及含蜡量较高,产出流体具有高凝、高黏特性,高凝稠油在油藏、井筒、地面举升过程中会散热、减压、脱气,在常温下流动能力变差,甚至失去其流动性。为实现高凝稠油在排液过程中的正常举升,通过改进常规排液工艺,采用加热增温、化学降黏等手段,探索应用了双空心抽油杆内循环加热螺杆泵稠油试油排液工艺,该工艺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及 Viton 氟橡胶制作泵筒内衬和转子^[16]。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,解决了冀东稠油井排液测试的难题。

2.3.1 面临的问题

随着螺杆泵测试工作量的不断扩大,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^[17]。马头营区块油藏黏度大,约为 100 ~ 10 000 mPa·s,快速高效降黏求产是马头营区块试油排液面临的问题之一。该地区储层埋藏较浅,约为 1 200~1 800 m 埋深,储层物性好,多数油藏与下部水层之间隔层较薄且部分油层存在底水,需选择便于控制生产压差且具连续稳定输出的排液方式,油藏气油比相对较低,存在一定的井控风险。

2.3.2 工作原理

螺杆泵排液是利用定子与转子相互转动时两者之间产生一连串的互不相通的封闭腔,从而将地层流体逐级挤排至地面的容积式排液方式^[18]。电机位于地面,连接抽油杆,接通电源后,电机带动抽油杆中,转子转动过程使得其和定子衬套内表面之间形成密闭空间,向排出端推移时形成压差,这样

井内液体就会在形成压差时被吸入,从吸入端推挤到排出端。而且这个过程是连续不断的,随着压力的不断升高,地层产出液被均匀举升到地面^[19]。通过空心抽油杆内的电加热增温,从而降低稠油黏度。双空心抽油杆内循环电磁加热螺杆泵排液是在螺杆泵的基础上将普通空心电加热抽油杆改进成同轴双空心抽油杆,增加了独立的内循环空心通道。循环液在地面加热增温后在井口通过万向旋转接头,泵入到双空心抽油杆内管通道,导至双空心抽油杆尾端,再流转至双空心抽油杆外管通道。特制的终端器沟通两个循环通道,形成了与外部井筒完全隔离的闭路循环系统,有效地减少了循环增温液量。

2.3.3 解决的主要问题

在排液过程中,热循环系统内的热载体不进入井筒,从而不会与井筒发生热交换,大大降低了热量的损失;该排液方式采用电加热+循环液加热的双重增温,通过增温循环可有效地实现整个伴热段温度保持在稠油结晶的敏感温度以上;井下防沙举升系统有效避免了气锁、沙卡、造成断杆事故的发生;同时双空心抽油杆抗扭大,可达 3 400 N/M 以上,拓宽了螺杆泵排液在斜井中应用的适应性。目前在马头营区块施工井中,稠油最高黏度 5 314 mPa·s,加热后出口流体温度约为 50 ℃ 左右,达到了较好的排液效果,取得了详实的地层液性。

2.4 多功能计量装置

马头营区块非自喷井相对较多,且在严峻的安全环保形势下,传统的大罐回收计量方式已无法满足地层产出流体的在线分离及精准计量的需求。多功能计量装置有效破解了此类问题的技术瓶颈,在排液过程中替代分离器、缓冲罐等多项设备,满足了地面计量施工中对地层流体在线分离、精准计量及准确落实储层液性的不同要求。同时,在一定程度上简化了地面流程设备的配置和连接形式,减少了设备的成本投入,对排液计量进行了根本性的改进,为冀东油田排液计量技术增添了更多选择。同时,该装置实现了地面流程全部封闭,有效提升了试油投产的环保水平。

2.4.1 主要功能

在酸化压裂后对低压含砂返排液进行计量,产品可以替代分离器,避免砂质在分离器内的沉积和酸液对分离器内部构件的腐蚀;在低压、低产井的计量作业中无法使用分离器的情况下,可集中易燃或毒害气体,输送到安全区域燃烧处理,流体经过

罐内分离、静置、沉淀的过程,通过呼吸孔将流体内伴生的天然气排放到井场以外,消除易燃易爆和人员中毒隐患;在螺杆泵等排液作业中,可精确计量排出流体中动力液与地层产出液的比例和流体中原油的产量,通过不同的隔仓和堰板的高度,分离出流体中的原油,并且准确地计量出地层液的产出量;在高压高产井测试中,特别是含硫化氢井况下,可对原油进一步缓冲分离,对原油脱气进行远距离排放,助于实现地面流程作业的全封闭施工,保证现场安全,对原油进一步脱气处理,利于安全防爆的装运;该装置具有液面自动控制,数据自动计量,内部盘管加热等功能,设置液面上下限控制,到达上限自动排放或装运,输出端装有电子流量计,与流程数采系统连接自动记录输出流量,罐内的加热盘管,可进行蒸汽或热水循环,对罐内流体进行加热,提高冬季施工中或稠油井施工中,分离、除砂、脱气、计量的实际使用效果。

2.4.2 多功能计量装置的应用

唐 XX 井是位于马头营凸起的一口采油井,采用双空心抽油杆内循环电磁加热螺杆泵排液,日产原油 8.12 m³,实现了连续稳定的排液求产,有效避免了不稳定求产对储层的伤害。该井使用了多功

能计量装置,使油水得到了有效的在线分离,准确落实了储层液性,为试油资料的精准录取提供了保障。该装置通过不同隔仓和堰板的高度,在线分离出返排液中的各类流体,实现油水液面自动控制。通过观测液位计,便可准确读取产出油水的实时计量,彻底改变了传统定时上罐丈量液面、测量含水的计量方式,避免了敞口罐人员中毒、爆炸的风险。密闭罐内增设的加热盘管,保证了冬季施工和稠油分离计量的使用效果。与此同时,该装置实现了整个射流泵排液地面流程的全部封闭,有效提升了试油排液的整体环保水平。

2.5 挤注灰封层工艺

为了提高挤注灰成功率,必须分析地质性质、井深结构,指定详细施工方案。在施工过程中精细计量顶替量和出液量,将气体侵入造成的计量误差控制到最小,从而解决了泥浆易沉淀等问题,实现封层深度零误差^[20]。

近年来,冀东油田井下作业频繁出现挤注灰失效情况,对于稠油油藏大斜度井更是增加了挤注灰的难度。对马头营凸起馆陶组封串(封层)失败情况进行了统计,结果见表 1。

表 1 马头营凸起馆陶组封串(封层)失败统计
Table 1 Statistics of sealing failure of Guantao Formation in Matouying uplift

井号	层位	试油井段/ m	封串段间距/ m	封堵情况		封堵效果对比		失败原因
				堵剂类型	用量/m ³	封堵前	封堵后	
唐 XA	馆陶组	1 656.2~1 660.2	距下 9.0 m	I 脲醛树脂	30.0	/	$Q_o=12.1\text{ m}^3$	地质
				II 水泥	10.3			
				III 水泥	15.0			
唐 XB	馆陶组	1 578.0~1 580.8	挤灰封层	水泥	30.0	$Q_w=11.25\text{ m}^3$	$Q_o=3.2\text{ m}^3$ $Q_w=1.2\text{ m}^3$	地质
唐 XC	馆陶组	1 493.4~1 495.0	距下 5.6 m	I 脲醛树脂	49.0	/	$Q_o=12.1\text{ m}^3$	地质
唐 XD	馆陶组	1 838.6~1 842.0	挤灰封层	II 水泥	4.5			
唐 XE	馆陶组	1 884.6~1 890.0	距下 14.6 m	水泥	4.9	/	/	井身结构
				I 水泥	30.0			
				II 水泥	30.0			
				III 水泥	40.0			

封层失败会对地层测试工艺的选择造成制约,影响试油成果,同时封井失败易造成极大的安全隐患,延误投产周期。因此,选择行之有效的挤注灰方法就显得势在必行。

2.5.1 挤注灰失效井原因分析

马头营凸起馆陶组挤注灰失效井原因主要分为两类:一是地质原因;二是井深结构原因。

地质原因主要是因为该区块井所在地层岩性属于细砂岩或含砾砂岩,分选较好且胶结疏松,地

层连通性、孔隙度及渗透性较好,同时由于生产层压力较低,导致个别井漏失严重,挤灰施工压力较低,挤灰成功率难以保证。马头营凸起馆陶组油层渗透性好、油层薄、油水关系复杂,由于该区块井井斜大,因此固井质量难以保证。施工时既要保证大剂量有效封串,又要小剂量减少封堵对油层的伤害,既要控制挤封施工压力和排量,避免压开储层形成层间窜通,又要实现施工后期起压,提高斜井段灰浆顶替效率,形成“实体”灰塞,这就使得堵剂

用量选择和施工压力控制尤为重要。

井身结构原因主要是由井斜过大造成水泥塞下沉和水泥挤封后试压不合格。造成注灰水泥塞下滑的主要原因有两点:一是受重力影响,注灰时水泥浆下沉是必然的;二是对于大斜度井,注灰管柱紧贴井眼低边不处于居中位置,造成井眼高边的返速远远超过低边返速,致使注灰顶替过程中水泥浆都聚集在井眼的高边一侧。由于密度差,当上提管柱以后水泥浆向低边下沉,下沉时高边处由于水泥浆下沉造成其原来的空间被境内液体充填,低边的压井液受到水泥浆的压力作业要向上运动,这样就形成自闭的内循环。在这种内循环的作用下推动水泥浆不断下移,直至其初凝为止,这种水泥浆的流动特性在唐XXX井注灰中得到证实。因此,不管何种类型井的注灰施工,都应采用紊流顶替,确保注灰井段水泥浆充满率达到100%,另外在注灰管柱底部加装油管扶正器,保证管柱尽可能居中,以提高注水泥塞过程中的顶替效率。

2.5.2 针对性措施

针对挤注灰施工出现的问题,建议采取针对性措施如下:

(1)针对大斜度井大灰量的挤封施工,通过采用连续油管,避免起出管柱过程中的灰浆“返吐”,或由于顶替效率差造成油管或套管壁“挂灰”等复杂情况的发生。

(2)对于高压高渗井,目前压井液密度难以满足压井要求的井,建议先用桥塞卡封生产井段,然

后填砂保护桥塞后再进行注灰施工。

(3)在大斜度井中注水泥塞时,管柱底部加装油管扶正器,保证注水泥塞井段的管柱居中度;研究注水泥塞过程中的水力流变特性,确保紊流顶替,保证注水泥井段的顶替效率。

(4)适当降低缓凝剂的使用比例,以缩短水泥浆的初凝时间。

3 现场应用

通过对射孔、测井、排液、挤注灰这四项工艺进行技术优化改进,形成了一套试油配套技术,解决了冀东油田中浅层低幅度稠油油藏勘探开发的技术瓶颈,在实际生产中得到了较好的应用效果。

唐XXX井是位于马头营凸起的一口评价井,试油层位为馆陶组26#小层,最大井斜为 69.85° ,井深1378.2 m,油层有效厚度3.8 m,人工井底1693.0 m,射孔井段1656.2~1660.2 m,原油密度为 0.87 g/cm^3 ,原油黏度为 $36.7\text{ mPa}\cdot\text{s}$ 。

该井在试油过程中,针对井斜大、固井质量差且距下部水层近的情况,采用螺杆泵(下深700 m)+射孔枪(102枪1 m弹,向上两方位夹角 120° +水平两方位)联作管柱的试油方案,有效控制了下部底水上窜。该井原油黏度较大,在后期排液期间采取了双空心抽油杆内循环电磁加热螺杆泵排液工艺,螺杆泵转速为25 r/min,加热入口温度 65°C ,出口油温 48°C ,排液效果显著,获日均产油 8.12 m^3 ,累计产油 $4\,601.5\text{ m}^3$ 。2020年6月17日至2021年12月17日排液曲线如图3所示。

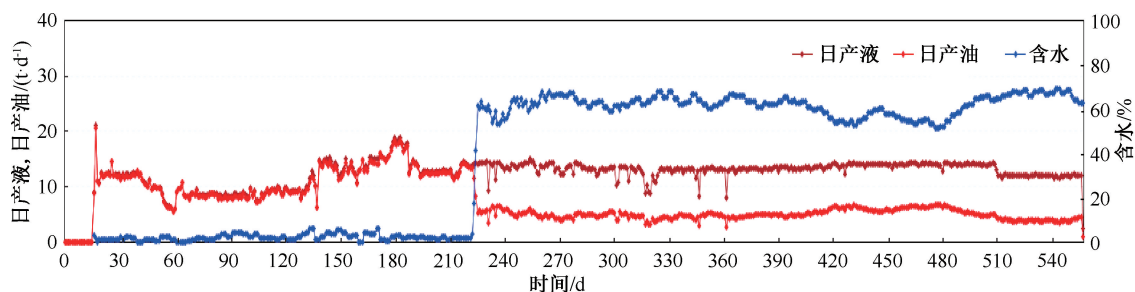


图3 唐XXX井排液曲线

Fig. 3 Drainage curve of Well Tang XXX

唐XX井是位于马头营凸起唐71X2背斜构造的一口开发井,射孔井段1838.6~1842.0 m,最大井斜为 71.31° 。该井射孔后下泵生产,日产液15 t,日产油0.15 t,含水99%,动液面92 m,累计产液184 t,产油1.5 t。为了解生产层油水性质及出水原因,后期进行了硼中子找水。结果显示NgII6层出

水。结合该井剩余油层测井解释及录井显示情况,又进行了碳氧比测试。根据测井解释结果,进行了挤封作业施工。

针对本井井斜大的特点,且碳氧比测试仪器长度达4.2 m,仅靠仪器及加重装置的自重无法自行下入到预定位置。借鉴大斜度井射孔校深技术,通

过爬行器来实施本次碳氧比测试任务。最终,经过7 h 近1 900 m 的连续爬行作业,测试仪器下至预定位置,测得到了合格的测试资料,为该井下步方案提供了详实可靠的依据。

根据该井硼中子找水结果,对Ng II 6层进行了挤灰封层作业,正替4 500 L 灰浆入井,挤淡水1 m³,挤清水4.9 m³,完成候凝管柱深1 704.22 m,候凝48 h后,探得灰塞下沉380 m,试压合格。经分析研究,针对施工井段井斜较大,水泥浆在井筒内容易滑脱的现象,采取“压木塞”方法((122~110) mm×0.32 m 胶木塞)辅助注灰,最终成功封层。

4 结论

(1)受油藏类型、井型、流体特性等因素影响,中浅层低幅度稠油油藏的试油配套技术的选择更加需要做到地质与工程的紧密结合,制定科学的实施方案。

(2)针对储层厚度薄,分布不均匀的油藏,结合井身轨迹,选择合理射孔方位,利用定向射孔技术,避免沟通下部水层。

(3)针对井斜大且测试仪器较长的情况,仅靠仪器及加重装置的自重无法自行下入到预定位置,可以借鉴大斜度井射孔校深技术,通过爬行器来实现生产测井任务。

(4)高凝稠油的试油排液举升工艺的选择需要综合考虑油藏类型、所排流体特性、储层产液能力、试油井井身结构和井筒条件、预测井口压力等。

(5)加强中浅高渗储层注挤灰封层工艺深化研究,重点从保证注水泥塞段的管柱居中度、水泥高压流变特性等方面入手,针对性制定技术措施,确保紊流顶替,提高封层成功率。

(6)为保证中浅高渗储层封层的成功率,井筒内所预留灰塞段一般较长(100 m 以上),从而给后续井筒处理增加了难度。将从钻头选型、排量设计、提高携砂能力、现场操作等方面入手,优化钻塞各项参数,实现大斜度井中的快速钻塞,使封层作业施工处于主动。

致谢:感谢冀东油田史文奇、王爱利、刘洋等人对该论文的支持和帮助。

参考文献

[1] 王时林,张博明,乔海波,等. 马头营凸起馆陶组低幅度构造油藏精细评价[J]. 特种油气藏,2017,24(1):11-15,48.

WANG Shilin, ZHANG Boming, QIAO Haibo, et al. Fine assessments for low-amplitude structure reservoirs in Guantao formation of Matouying uplift [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2017,24(1):11-15,48.

[2] 李健,王海虹,赵红霞. 埕岛油田微幅度构造研究[J]. 西安石油大学学报(自然科学版),2005,20(1):23-25,29.

LI Jian, WANG Haihong, ZHAO Hongxia. Study on the microstructures of Chengdao Oilfield [J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2005,20(1):23-25,29.

[3] 郭泽清,李本亮,张林,等. 低幅度构造天然气成藏的闭合度下限探讨—以柴达木盆地三湖地区为例[J]. 地质科学,2008,43(1):34-49.

GUO Zeqing, LI Benliang, ZHANG Lin, et al. Discussion on minimum closure for low-amplitude structural nature gas pool: A case study from Sanhu area in the Qaidam basin [J]. Chinese Journal of Geology (Scientia Geologica Sinica), 2008,43(1):34-49.

[4] 姜华,王华,林正良,等. 南堡凹陷古近纪幕式裂陷作用及其对沉积充填的控制[J]. 沉积学报,2009,27(5):976-982.

JIANG Hua, WANG Hua, LIN Zhengliang, et al. Periodic rifting activity and its controlling on sedimentary filling of Paleogene Period in Nanpu Sag [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009,27(5):976-982.

[5] 李俊杰. 地层测试(试油)技术的发展及展望[J]. 油气井测试,2016,25(5):71-74.

LI Junjie. Development and prospect for well test (oil test) technology [J]. Well Testing, 2016,25(5):71-74.

[6] 周惠存. 井下作业试油新技术探究[J]. 化工管理,2017(21):22.

ZHOU Huicun. Exploration of new oil testing technology in underground operation [J]. Chemical Enterprise Management, 2017(21):22.

[7] 张绍礼. 试油技术的形成及发展方向[J]. 油气井测试,2003,12(6):63-70.

ZHANG Shaoli. The formation and development direction of well testing technology [J]. Well Testing, 2003,12(6):63-70.

[8] 秦莹民. 水平井试油测试配套技术探究[J]. 石化技术,2021,28(7):150-151.

Qin Yingmin. Research on supporting technology of horizontal well test [J]. Petrochemical Industry Technology, 2021,28(7):150-151.

[9] 高闯. 稠油油藏试油试采工艺适应性分析与优化[J]. 化学工程与装备,2018(6):157,134.

GAO Chuang. Adaptability analysis and optimization of oil test and production test technology for heavy oil reservoirs [J]. Chemical Engineering & Equipment, 2018(6):157,134.

[10] 唐梅荣,马兵,刘顺,等. 电缆传输定向射孔技术试验

- [J]. 石油钻采工艺, 2012, 34(1): 122-124.
- TANG Meirong, MA Bing, LIU Shun, et al. Experimental study on novel directional perforating technology by cable transmission [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2012, 34(1): 122-124.
- [11] 邓金根, 郭先敏, 孙焱, 等. 致密气藏压裂井定向射孔优化技术[J]. 石油钻采工艺, 2008, 30(6): 93-96.
- DENG Jinggen, GUO Xianmin, SUN Yan, et al. Optimization of directional perforation technology for fractured wells in tight gas reservoirs [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2008, 30(6): 93-96.
- [12] 张群. 水平井找水测试技术发展现状与展望[J]. 油气田地面工程, 2011, 30(4): 71-73.
- ZHANG Qun. Development status and prospect of horizontal well water exploration and testing technology [J]. Oil-Gasfield Surface Engineering, 2011, 30(4): 71-73.
- [13] 陈立东. 水平井爬行器在大庆地区的应用[J]. 国外测井技术, 2020, 41(2): 46-48.
- CHEN Lidong. Application of horizontal well tractor in Daqing area [J]. World Well Logging Technology, 2020, 41(2): 46-48.
- [14] 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]. Energy Conservation in Petroleum & Petrochemical Industry, 2014, 7(1): 1-2.
- [15] 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 Standard and Quality, 2017, 37(3): 34-35.
- [16] 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.
- 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.
- [17] 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.
- [18] 王爱利, 赵江援, 史文奇, 等. 冀东油田高凝油藏试油排液工艺的探索[J]. 油气井测试, 2014, 23(6): 36-39.
- WANG Aili, ZHAO Jiangyuan, SHI Wenqi, et al. Probe of oil test and unflowing technology to condensate oil reservoir in Jidong Oilfield [J]. Well Testing, 2014, 23(6): 36-39.
- [19] 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.
- [20] 马克. 刍议如何提高注灰和挤灰一次成功率[J]. 中国石油石化, 2016(S1): 236.
- MA Ke. How to improve the one-time success rate of ash injection and squeeze [J]. China Petrochem, 2016(S1): 236.

编辑 方志慧

第一作者简介: 张悦, 女, 1989 年出生, 硕士研究生, 工程师, 2014 年毕业于西南石油大学石油与天然气工程专业, 现主要从事试油投产管理及技术经济评价工作。电话: 028-2111472; Email: yyjy7@sina.cn。通信地址: 四川省成都市成华区府青路府青路一段 19 号, 邮政编码: 610000。