

集约化建井平台举升优化设计及配套技术

孙 超

中国石油吉林油田公司油气工程研究院, 吉林 松原 138000

摘 要: 吉林油田近年来为应对低油价、产能建设投资高以及新区低品位资源难以效益动用的问题,在以新立地区Ⅲ区块为代表的常规低渗透油藏开展了集约化平台效益建产现场试验。在实施过程中,大井丛平台大斜度井数量增多、井身轨迹复杂,将会导致井下杆管磨损,成为制约平台井长期高效生产的主要问题。针对大斜度油井的井身轨迹特点,通过分析磨损原因和影响因素,确定了防磨举升优化设计思路,并通过降低摩擦系数、建立有效间隔、降低接触压力、降低接触频率等技术对策的实施,大幅度延长了平台井的检泵周期,实现了复杂井况条件下的长效举升。同时基于平台建井模式地面井位集中特点,创新采取一机多井非常规举升方式,现场试验了双驴头抽油机及液压抽油机,取得大幅度降低采油设备投资和生产能耗的较好效果,为低品位资源效益开发降低投资提供了技术支撑。

关键词: 平台;大斜度油井;举升工艺;磨损;举升设备

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2019.01.010

Optimized Design and Supporting Technology for Well Lifting in Intensive Construction Well Platform

Sun Chao

PetroChina Jilin Oilfield Company Oil and Gas Engineering Research Institute, Songyuan, Jilin, 138000, China

Abstract: In recent years, in order to cope with the low oil price, high investment in capacity building and the difficulty in the utilization of low-grade resources in the new district, Jilin Oilfield has carried out intensive platform production and field trials in conventional low-permeability reservoirs represented by Block Ⅲ in Xinli District. During the implementation process, the number of large-angle wells on the large wells platform increases, and the well trajectory is complicated, which will lead to the wearing of the downhole rods and becomes the main problem that restricts the long-term efficient production of platform wells. Aiming at the characteristics of wellbore trajectory of high-angle oil wells, through the analysis of wear causes and influencing factors, the design concept of anti-wear lifting is determined, and the technical countermeasures such as reducing friction coefficient, establishing effective interval, reducing contact pressure and reducing contact frequency are determined. The implementation has greatly extended the pump inspection cycle of the platform well and achieved long-term lift under complex well conditions. At the same time, based on the characteristics of the ground well location of the platform construction

收稿日期:2018-11-26

基金项目:中国石油天然气股份有限公司吉林油田分公司重点科研项目“效益区产能建设方案优化研究”(JY 16 C 2-2)

作者简介:孙 超(1981-),男,黑龙江五常人,高级工程师,硕士,主要从事采油工程方案设计与技术研究工作。

mode, the innovative multi-well unconventional lifting method was adopted, and the double-headed pumping unit and hydraulic pumping unit were tested on site, which greatly reduces the investment in oil production equipment and energy consumption, and provides technical support for low-grade resource efficiency development and investment reduction.

Keywords: Platform; Large-angle oil well; Lifting process; Wear; Lifting equipment

0 前言

当前低渗透剩余储量、难动用储量以及非常规油气储量已逐渐成为油气勘探开发的主体^[1]。吉林油田已全面转入低渗透、低丰度、低产量开发阶段,传统的开发技术、模式及做法已经无法实现效益动用。与此同时,近年来随着低品位非常规油气资源的开发逐年增加,丛式井、工厂化作业在石油开采中已得到广泛应用,能够实现钻完井批量化和流水线施工,有效提高作业效率,大幅度降低成本^[2-5]。吉林油田通过创新实践非常规开发理念和技术,在以新立Ⅲ区块为代表的常规低渗透油藏开展大井丛平台效益建产示范区先导试验,取得了提高单井产量与区块采收率、降低产能建设投资与运行成本的“双提、双降”显著效果^[6]。然而,大井丛平台集中建井的模式必然导致大斜度油井数量增多,复杂的井身轨迹条件对采油举升提出了更为苛刻的要求。因此,通过针对平台大斜度油井实际井况特点开展举升工艺优化设计研究并形成了相关配套技术,有效解决了大斜度油井杆管磨损、降本提效等问题,实现了平台井延长系统生命周期、高效发挥生产能力目标,进而支撑了集约化大井丛产能建设模式的成功实践,为今后低油价条件下类似的难动用储量资源效益开发提供了借鉴。

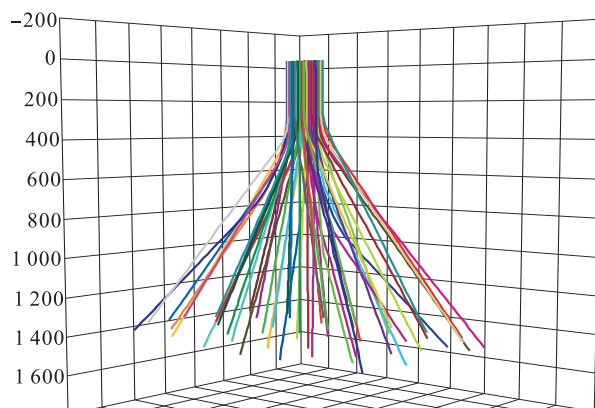
1 大井丛平台试验区概况

1.1 试验区开发基本情况

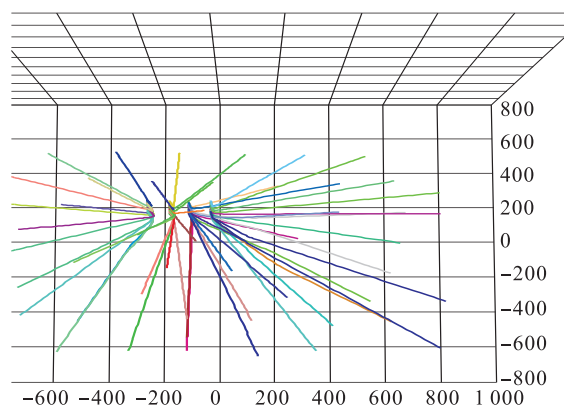
吉林油田选取新立油田的Ⅲ区块作为开展集约化平台效益建产的试验区。新立油田属于典型的早期开发的常规低渗透油藏,开采目的层主要为扶余、杨大城子油层,储层物性较差,平均孔隙度为15%,平均空气渗透率为 $6.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,油层埋深1 100~1 500 m。该油田于1983年全面注水开发,随着开发时间的延长,注水压力升高、油水井井况变差等开发矛盾日益突出,目前该油田已整体进入“双高”开采阶段,共有油水井逾2 200余口,综合含水达82%,可采储量采出程度达75.5%。

Ⅲ区块产能建设试验区含油面积约为4 km²,试验区分别建3个集约化大井丛平台,部署开发井位107口,平均井深1 400 m,设计单井产能1.5 t/d。其中最大平台即1#平台部署井数达到48口,见图1;同时该平台的建立在钻井设计上实现了井口间距5 m条件下的防碰绕

障,并通过现场实施实现了零丢井率。该集约化建井试验区在投产后实现了“双提、双降”的良好开发效果,单井产能由设计的1.5 t/d提高至2.4 t/d;区块采收率由37.3%提高至46.4%;产能建设投资比原常规建产模式水平下降了26.9%;原油开采成本大幅下降。



a) 平台井眼轨迹纵向剖面效果



b) 平台井眼轨迹平面效果

图1 新立油田Ⅲ区块试验区1#大井丛平台井眼轨迹效果

1.2 大井丛平台井身轨迹情况

大井丛集中建井的模式必然随之产生大斜度井数量增多及井身轨迹复杂的问题。据统计,试验区3个井丛平台实际完钻后井斜角 $>30^\circ$ 的平台井达42口,占平台井总数的39%,其中井斜角超过 40° 的达11口,最大井斜达 52.8° 。狗腿度一般在 $5^\circ \sim 7^\circ/25 \text{ m}$ 。并且平台井水平位移相对较大,水平位移超过600 m的达39口,最大水平位移达1 000 m。同时由于平台井造斜点相对较浅,一般在230~370 m范围内,因此平台井斜井段一

般相对较长,位垂比 >0.5 的达23口,最大位垂比达0.73,见表1。正是由于大井丛平台井存在造斜点浅、井斜角大及井底水平位移长、直井段远低于斜井段等这些复杂井身轨迹特点,使得井下管柱受井眼形态影响无法保证有效居中,部分井段易导致井下杆管磨损,为投产油井长效举升带来了较大难度。

表1 新立油田Ⅲ区块大井丛平台井身轨迹参数统计表

井斜角 / (°)	井数 / 口	水平位移 / m	井数 / 口	位垂 比	井数 / 口
<20	33	<400	36	<0.3	37
$20 \sim 30$	32	$400 \sim 600$	32	$0.3 \sim 0.4$	23
$30 \sim 40$	31	$600 \sim 800$	32	$0.4 \sim 0.5$	24
$>40^\circ$	11	>800	7	>0.5	23
最大井 斜 52.8		最大位移 1 000		最大位垂 比 0.73	

2 举升工艺设计及配套技术

由于集约化建产试验区新立Ⅲ区块受低产液现实条件制约与产能建设控制投资要求,只能采取常规抽油机有杆泵举升方式。同时面对平台油井完井后特殊井筒条件,机采举升方式下井下杆管的服役条件进一步苛刻,举升工艺设计必须保证投产后较长免修期的需要。近年来,国内很多油田针对油井管杆偏磨问题,开展了相关原因分析及治理对策研究,形成了适合本地区的防磨工艺技术和经验做法^[7-14],但围绕大井丛平台大斜度油井举升系统优化方面的内容较少。由此,集约化平台油井举升优化仍需从磨损原因及影响因素分析入手,以尽可能降低磨损程度为重点,合理优化举升工艺设计及配套有效的防磨技术对策,延长油井检泵周期,进而保障大井丛平台井长期正常生产。

2.1 磨损原因及影响因素分析

从磨损产生的机理分析,若要发生磨损,必须存在两个先决条件:一是物体之间存在接触;二是两物体之间存在着相对位移^[15]。经分析,影响有杆泵举升方式井下杆管磨损程度的主要因素有以下方面:

1)井斜的影响。由于大斜度井部分井段井筒出现扭曲现象,使井下杆管产生弯曲,随着井斜和弯曲度情况加大,油管内壁不仅与抽油杆接箍摩擦还会与抽油杆本体摩擦,并且井下杆管磨损范围相对集中将导致磨损趋于严重。因此扩大杆管间隙、实现有效间隔等防止杆管直接接触并降低接触压力的方式是减轻磨损的有效措施。

2)井下杆管材质的影响。杆管材质及表面涂层材料的强度和耐蚀性不同,杆管的服役周期寿命也会不

同。以往采用的常规抽油杆尼龙扶正器措施,在大斜度井中将不可避免发生扶正位置偏移、磨损应力集中等问题,将会导致井下杆管直接接触从而发生钢类同性介质摩擦现象,由此在油管内壁整体加衬低摩擦系数材料,对井下杆管起到双向保护作用可有效降低磨损的途径之一。

3)油井生产参数的影响。在油井生产参数中对井下杆管磨损起主要作用的就是冲次,在油井冲次较高时,易发生偏磨的位置杆管间发生接触次数越多,发生磨损的程度也就越高,磨损程度一般与冲次成正比关系。由此通过优化增大泵径、冲程等举升参数降低冲次,进而降低杆管间接触频率,是防控磨损发生的直接有效方法。

2.2 举升工艺设计及配套技术

2.2.1 提高接触面的光滑程度、降低摩擦

采取与钢质材料相比表面光滑的耐磨材料。目前在这方面主要采用玻璃衬里或内衬聚乙烯材料,它们与钢材相比都有表面光滑、摩擦系数小的优点。而超高分子量聚乙烯油管内衬,具有较高的耐磨性,不是靠硬度而是靠黏弹性和自润滑性来缓冲磨损,由此具有双向保护、不损伤合金耐磨接箍等优点;并且自身化学材料性能稳定,具有良好的抗腐蚀性和抗结垢性。在一些油田大斜度油井或杆管偏磨问题严重油井上应用,均起到延长油井检泵周期的显著效果^[16-17]。因此新立试验区大井丛平台油井由造斜点以上50 m至抽油泵的斜井段油管全部应用内衬聚乙烯,提高接触面的光滑程度,有效降低了摩擦系数,见表2,对井下杆管起到有效防护作用,降低磨损程度。

表2 内衬油管材料与钢表面性能对比表

材料	摩擦系数	材料粗糙度 /m
钢	0.4 ~ 0.8	0.000 15
聚乙烯	0.16 ~ 0.23	0.000 005
玻璃衬里	0.2 ~ 0.35	0.000 015

2.2.2 建立井下杆管有效间隔、防止接触

首先避免采用常规尼龙材质抽油杆扶正器与油管衬发生同类介质摩擦作用,增大杆管摩擦力及磨损程度。因此平台油井设计选择镍基合金防磨接箍应对抽油杆扶正问题,该接箍具有耐磨损、耐磨蚀、减磨阻三大功能,与内衬管材质不同,起到抗磨副的作用。同时国内有学者对抽油井常用杆管材料以及涂层内衬处理后的杆管材料与不同类型材质接箍进行耐磨蚀性能试验研究,试验结果表明应用涂层内衬油管条件下,采用合金接箍其磨蚀率低于常规接箍,耐磨性较好,与内衬油管配合可有效减缓抽油杆与油管的偏磨及腐蚀

问题^[18]。

2.2.3 增大油管尺寸、降低杆管接触压力

分析表明,随着井斜角及狗腿度的增大,井眼弯曲段挠曲率变大,作用在抽油杆柱上的压力越大,偏磨越严重^[19]。新立试验区平台油井抽油杆普遍采用 22 mm + 19 mm 的 H 级高强度两级杆柱组合,常规情况下普遍采用 $2\frac{7}{8}$ in (1 in = 25.4 mm) 油管可满足正常生产。而针对平台大斜度油井具有较浅的造斜点、较大井斜角和较长的斜井段以及井斜角变化程度高于普通定向井等问

题,创新设计采用 $3\frac{1}{2}$ in 油管(油管内径 76 mm、内衬聚乙烯后内径约 67 mm)代替常规油井投产应用的 $2\frac{7}{8}$ in 油管(油管内径 62 mm、内衬聚乙烯后内径约 53 mm),以此增加杆管环空间隙。根据实际完钻井身轨迹情况,开展了针对大斜度、大狗腿度平台油井的接触压力量化分析,计算结果表明,在抽油杆柱不变前提下,通过增大油管尺寸可有效降低狗腿度较大的造斜井段杆管接触压力,见图 2,并以此起到降低大斜度油井投产后长期服役的井下杆管磨损程度的作用。

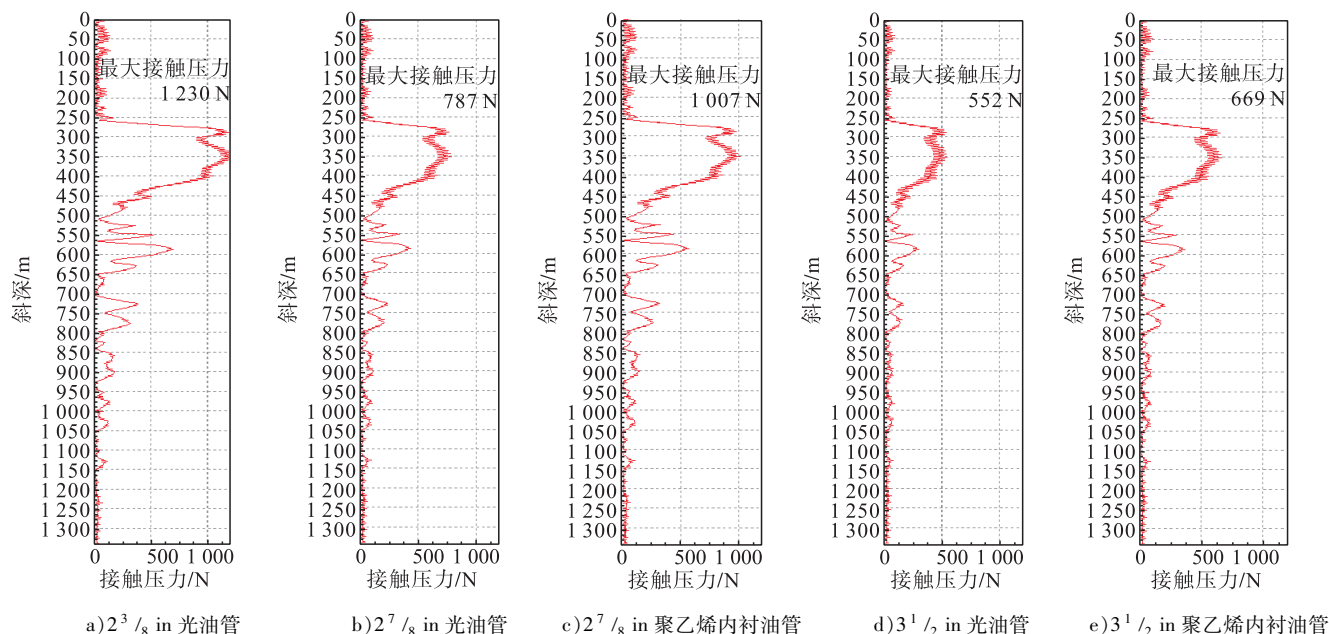


图 2 平台大斜度井不同尺寸油管条件下杆管接触压力分析情况

2.2.4 降低工作制度,减缓杆管接触频率

为保障大平台油井投产后免修期需要,该试验区举升设计上本着“长冲程、慢冲次、适当泵径”的基本原则,适当降低抽油工作制度。综合该地区以往投产老井产液实际情况并考虑发挥平台整体压裂效果预测新井产液范围,设计平台油井单井日产液量需满足初期 $10\text{ m}^3/\text{d}$ 以上排量能力,稳产阶段 $5\sim 10\text{ m}^3/\text{d}$ 。若采取 32 mm 泵径,则需初期阶段达到 6 次以至更高冲次才能基本满足排量需求,稳产阶段也需要 4 次左右的工作制度;因此设计选取排量更大一级的泵,来达到以较低工作制度满足正常产液量的需求。即采用 38 mm 泵,投产初期采用 4 次冲次、稳产阶段采用 2 次左右冲次即能满足不同生产阶段产液需求,见表 3。由此可以使杆管的磨损速度大幅度降低,从而大幅度延长平台油井较长的检泵周期。同时针对大斜度油井抽油泵下到较高井斜段情况,尤其是部分油井泵挂处井斜将达到 $40^\circ\sim 50^\circ$,选择斜井专用抽油泵,该抽油泵进油阀和出油阀都设置有导向机构,能够有效辅助闷球回位座封,并可强制启闭,有效消除井斜度对闷球复位座封的影响,保障平台大斜度油井较

高泵效生产。

另一方面,以追求平台井全生命周期长效生产为目标,合理匹配抽油机型。根据该地区储层深度情况设计下泵垂直深度范围为 1 100 ~ 1 150 m,考虑平台井的井斜情况下泵实际斜深主体在 1 300 ~ 1 450 m 范围,据此计算抽油机最大载荷范围已达 56 ~ 61 kN,主体已达到 6 型抽油机许用载荷的 93 % 以上,且部分大斜度井已超过 6 型机许用载荷。在此情况下,若以应用 6 型小机型为目的,需要大斜度井采取较浅泵挂深度设计,不利于生产后期控制流压发挥产能。实际方案设计采用 8 型抽油机(CYJ 8-3-37 HB),最大冲程由 2.5 m 提高到 3 m,在同样产液水平条件下,通过采取较长冲程以达到降低工作制度进而减小磨损几率的目的,为今后该试验区平台井实现较高的免修期奠定了基础。

2.3 大井丛平台非常规举升设备

在低油价形势下,以抽油机井为主要开采方式的油田,都在研究应用不同的优化技术以节能降耗、降低成本^[20]。吉林油田在新立 III 区块试验区举升设备方面,采取非常规创新技术,围绕大平台建井地面井位集中且油

表 3 不同泵径、不同工作制度油井的排量范围

编号	泵径 / mm	排量 系数	冲程 /m	冲数 / (次·min ⁻¹)	日理论 排量 /m ³	40 % 泵效 排量 /m ³	60 % 泵效 排量 /m ³	80 % 泵效 排量 /m ³	备注
1	32	1.16	2.5	6	17.36	6.95	10.42	13.89	6 型 主 体 最 大 冲程
2	32	1.16	2.5	4	11.58	4.63	6.95	9.26	
3	32	1.16	2.5	2	5.79	2.32	3.47	4.63	
4	32	1.16	3	6	20.84	8.33	12.5	16.67	8 型 主 体 最 大 冲程
5	32	1.16	3	4	13.89	5.56	8.33	11.11	
6	32	1.16	3	2	6.95	2.78	4.17	5.56	
7	38	1.63	2.5	6	24.45	9.78	14.67	19.56	6 型 主 体 最 大 冲程
8	38	1.63	2.5	4	16.30	6.52	9.78	13.04	
9	38	1.63	2.5	2	8.15	3.26	4.89	6.52	
10	38	1.63	3	6	29.34	11.74	17.60	23.47	8 型 主 体 最 大 冲程
11	38	1.63	3	4	19.56	7.82	11.74	15.65	
12	38	1.63	3	2	9.78	3.91	5.87	7.82	

井间距小的特点,地面井距一般控制在 6.5 ~ 7.5 m,创新研究并现场推广应用双驴头抽油机及一机多井液压抽油机,有效降低产能建设采油投资及运行成本。其中双驴头抽油机是两口井共用一台抽油设备,见图 3。把一台抽油机下冲程的无用功变成另一台抽油机的有用功,工作时利用两口油井互相平衡,提高了设备和能源的利用率。双驴头抽油机技术通过现场推广应用及改进完善目前已基本成熟,可满足 3 ~ 10 型不同规格抽油机配套需求。



图 3 双驴头抽油机现场图

另一方面,自主研发并现场试验了一机多井液压抽油机技术,并通过创新改进形成了直连式液压抽油机设备,见图 4。该技术结构简单、重量轻,只有常规抽油机重量的 10 % 左右;可实现“1 拖 2”、“1 拖 4”等液压系统方式,设备投入成本低,在新立试验区大井丛平台现场应用,设备运行平稳。



图 4 液压抽油机现场图

3 现场应用效果

一方面新立油田Ⅲ区块集约化建产试验区于 2015 年 6 ~ 7 月先期投产的 1#、2#井丛平台,投产截至目前历时近 3.4 a,通过机采举升防磨优化设计及配套技术的有效实施,平台油井对比以往传统建产模式下的常规油井,在斜度更大、井眼轨迹更复杂、下泵深度更深的情况下,折算免修期近 1 600 d,大幅高于同区块以往常规新投井当年免修期 1 000 d 左右的水平,并且未出现因井下杆管磨损导致大量修井现象,由此有效解决了大井丛平台油井采用常规有杆泵举升方式因井斜较大导致检泵周期短的问题。

另一方面新立Ⅲ区块试验区在 3#大井丛平台创新应用了双驴头一机双井抽油机及一机多井液压抽油机两类非常规举升设备。首先,大幅度降低了产建新井的采油设备投资,以大井丛平台主体应用的 8 型抽油机为例,对比常规抽油机设备投资,双驴头一机双井抽油机降低了 19.5 %,一拖二井液压抽油机降低了 53.3 %。另外,大幅度降低了投产后油井的运行能耗,在装机功率方面双驴头一机双井抽油机及一机多井液压抽油机均下降了近 50 %,其中双驴头一机双井抽油机运行过程中对比常规抽油机平均节电约 49 %;一拖二井液压抽油机运行过程中对比常规抽油机平均节电约 22 %。为大井丛试验区低成本效益建产提供了有效支撑。

4 结论与认识

1) 吉林油田在新立Ⅲ区块开展集约化大井丛效益建产示范区现场试验,平台大斜度油井数量多、井身轨迹复杂,并且具有井斜角及狗腿度大、造斜点浅、斜井段长等特点,减缓井下杆管磨损程度是采油举升优化设计的核心内容。

2)通过分析平台大斜度油井井下杆管磨损的原因和影响因素,针对性地提出以防磨为重点的采油举升优化设计和配套技术,包括降低摩擦系数、接触面建立隔离、降低接触压力、降低接触频率等,通过现场实施,有效地延长了平台大斜度油井的检泵周期,实现了复杂井况条件下长效举升。

3)针对集约化平台建井井位集中的有利条件,创新设计并现场试验了一机多井的非常规举升方式,包括双驴头抽油机及液压抽油机,显著降低了采油设备投资及生产运行能耗,为今后低油价下类似难采储量的低成本高效开发提供了技术保障。

参考文献:

- [1] 邹才能,丁云宏,卢拥军,等.“人工油气藏”理论、技术及实践[J]. 石油勘探与开发,2017,44(1):144-154.
Zou Caineng, Ding Yunhong, Lu Yongjun, et al. Concept, Technology and Practice of “Man-Made Reservoirs” Development [J]. Petroleum Exploration and Development, 2017, 44 (1): 144-154.
- [2] 梁奇敏,何俊才,董文涛,等.“井工厂”作业时直井段防碰设计与控制探讨[J]. 石油钻采工艺,2016,38(3):302-305.
Liang Qimin, He Juncai, Dong Wentao, et al. Anti-Collision Design and Control of Vertical Section in “Well Plant” Mode [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2016, 38 (3): 302-305.
- [3] 郭晓霞,杨金华,钟新荣.北美致密油钻井技术现状及对我国的启示[J]. 石油钻采工艺,2014,36(4):1-5.
Guo Xiaoxia, Yang Jinhua, Zhong Xinrong. The Status of Tight Oil Drilling Technique in North America and Its Enlightenment to China [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2014, 36 (4): 1-5.
- [4] 张金城,孙连忠,王甲昌,等.“井工厂”技术在我国非常规油气开发中的应用[J]. 石油钻探技术,2014,42(1):20-25.
Zhang Jincheng, Sun Lianzhong, Wang Jiachang, et al. Application of Multi-Well Pad in Unconventional Oil and Gas Development in China [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014, 42 (1): 20-25.
- [5] 李立昌,张军伟,汝大军,等.长庆苏里格气田苏25区块丛式井钻井工艺技术应用研究[J]. 钻采工艺,2008,31(3):31-34.
Li Lichang, Zhang Junwei, Ru Dajun, et al. Study on Drilling Technology for Cluster Well in Su25 Block in Changqing Sulige Gas Field [J]. Drilling & Production Technology, 2008, 31 (3): 31-34.
- [6] 李兴科,孙超,许建国.大井丛集约化效益建产开发方案优化与技术应用[J]. 特种油气藏,2018,25(2):169-174.
Li Xingke, Sun Chao, Xu Jianguo, et al. Development Program Optimization and Technology Application in Multi-Well Cluster Intensification Benefit Production [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2018, 25 (2): 169-174.
- [7] 奚运涛,李曼平,侯正孝,等.长庆油田斜井防偏磨技术研究[J]. 天然气与石油,2012,30(6):55-57.
Xi Yuntao, Li Manping, Hou Zhengxiao, et al. Eccentric Wear Prevention Technology for Deviated Wells in Changqing Oilfield [J]. Natural Gas and Oil, 2012, 30 (6): 55-57.
- [8] 杨沾宏,陈博,刘晓龙,等.胡尖山油田新46区块油井偏磨综合治理研究[J]. 石油化工应用,2016,35(10):70-73.
Yang Zhanhong, Chen Bo, Liu Xiaolong, et al. Study on Comprehensive Treatment of Oil Well Partial Wear in Xin 46 Block of Hujianshan Oilfield [J]. Petrochemical Industry Application, 2016, 35 (10): 70-73.
- [9] 王晓兵,魏岗油区油井偏磨及防治情况分析[J]. 大众科技,2014,16(173):30-31.
Wang Xiaobing. Analysis of Weigang Oil Well Eccentric Wear and Prevention District [J]. Popular Science & Technology, 2014, 16 (173): 30-31.
- [10] 张贺敏.定边油田油井管杆偏磨原因分析及治理技术[J]. 西部探矿工程,2015,27(4):27-29.
Zhang Hemin. Cause Analysis and Treatment Technology of Oil Well Partial Wear in Dingbian Oilfield [J]. West-China Exploration Engineering, 2015, 27 (4): 27-29.
- [11] 鲁娟党,刘鑫,于斌,等.南堡1-29断块抽油井杆管偏磨综合治理[J]. 西部探矿工程,2015,27(6):38-41.
Lu Juandang, Liu Xin, Yu Bin, et al. The Comprehensive Treatment of Oil Well Partial Wear in the Fault Block Nanpu 1-29 [J]. West-China Exploration Engineering, 2015, 27 (6): 38-41.
- [12] 余永新,余剑,冉阳,等.火烧作业区管杆偏磨原因分析及治理对策[J]. 新疆石油天然气,2015,11(1):89-92.
Yu Yongxin, Yu Jian, Ran Yang, et al. The Cause Analysis and Countermeasures of Tube Rod Eccentric Wear in Huoshaoshang Operating Zone [J]. Xinjiang Oil & Gas, 2015, 11 (1): 89-92.
- [13] 韩亮,嵕向涛,冯爱霞,等.F区块机抽井漏失原因分析及防治措施研究[J]. 天然气与石油,2015,33(1):62-64.
Han Liang, Mao Xiangtao, Feng Aixia, et al. Analysis on Causes of Oil Leakage in Block F and Its Prevention Measures [J]. Natural Gas and Oil, 2015, 33 (1): 62-64.
- [14] 陈世栋,惠芳,陈立.杨井作业区管杆偏磨机理分析及防治措施[J]. 石油化工应用,2014,33(1):60-63.
Chen Shidong, Hui Fang, Chen Li. Yangjing Assignments Tube Rod Eccentric Wear Mechanism is Analyzed and Prevention Measures [J]. Petrochemical Industry

- Application, 2014, 33 (1): 60-63.
 - [15] 王 峰, 李兴科, 刘长宇, 等. 吉林油田浅层定向井、浅层水平井举升工艺[J]. 石油钻采工艺, 2007, 29(5): 41-44.
Wang Feng, Li Xingke, Liu Changyu, et al. Research on Lifting Technique for Shallow Directional Well and Shallow Horizontal Well in Jilin Oilfield [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2007, 29 (5): 41-44.
 - [16] 王玉荣, 贾 博. 新型耐磨蚀油管技术在油田中应用[J]. 非常规油气, 2015, 2(2): 52-57.
Wang Yurong, Jia Bo. Application of New Anti-Abrasion Tubing Technology in Oilfields [J]. Unconventional Oil & Gas, 2015, 2 (2): 52-57.
 - [17] 李文森, 景步宏, 杨栋祥, 等. 内衬超高分子量聚乙烯油管在黄88断块的应用[J]. 复杂油气藏, 2014, 7(1): 81-83.
Li Wensen, Jing Buhong, Yang Dongxiang, et al. Application of Lined Ultra-High Molecular Weight Polyethylene Tubing in the Fault Block Huang 88 [J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2014, 7 (1): 81-83.
 - [18] 刘丙生, 王优强, 宋开利. 抽油井管杆摩擦副耐磨蚀性能试验研究[J]. 润滑与密封, 2005, 171(5): 50-54.
Liu Bingsheng, Wang Youqiang, Song Kaili. Experiment Study of Anticorrosive-Wear About Tube and Rod Friction Pair in the Pumping Well [J]. Lubrication Engineering, 2005, 171 (5): 50-54.
 - [19] 彭 中. 抽油杆柔性防磨接箍的研发与应用[J]. 钻采工艺, 2013, 36(3): 68-70.
Peng Zhong. Research and Application of Flexible Anti-Eccentric Wear Collar of Sucker Rod [J]. Drilling & Production Technology, 2013, 36 (3): 68-70.
 - [20] 邓吉彬. 抽油机井节能优化统一模型[J]. 石油钻采工艺, 2016, 38(6): 842-846.
Deng Jibin. Uniformed Model for Energy Conservation and Optimization of Rod-Pumped Wells [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2016, 38 (6): 842-846.



(上接第 55 页)

- [14] 谭羽非,展长虹,曹琳,等.用CO₂作垫层气的混气机理及运行控制的可行性[J].天然气工业,2005,25(12):105-107.
Tan Yufei, Zhan Changhong, Cao Lin, et al. Gas Mixing Mechanism Taking CO₂ as Cushion Gas and Feasibility of Operation Control [J]. Natural Gas Industry, 2005, 25 (12): 105 - 107.
- [15] 王玉洁.枯竭型储气库CO₂作垫层气的可行性研究[D].成都:西南石油大学,2014:60-63.
Wang Yujie. Feasibility Study on CO₂ as a Cushion Gas in Exhausted Gas Storage [D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2014: 60 - 63.
- [16] 胡书勇,李勇凯,王梓蔚,等.枯竭油气藏型储气库用CO₂作垫层气的研究现状与展望[J].油气储运,2016,35(2):130-139.
Hu Shuyong, Li Yongkai, Wang Ziwei, et al. Research Status and Prospect of Depleted Oil-Gas Reservoir Storage Using CO₂ as the Cushion Gas [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2016, 35 (2): 130 - 139.
- [17] 谭羽非,曹琳,林涛.CO₂作天然气地下储气库垫层气 Tan Yufei, Cao Lin, Lin Tao. Feasibility Analysis About Carbon Dioxide as Cushion Gas for Natural Gas Storage [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2006, 25 (3): 12 - 14.
- [18] 谭羽非,陈家新.天然气地下储气库垫层气与工作气混合的模拟研究[J].哈尔滨工业大学学报,2001,33(4):546-549.
Tan Yufei, Chen Jiaxin. Simulation Research of Mixing Problem to the Cushion Gas and Work Gas [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2001, 33 (4): 546 - 549.
- [19] 陈维.超临界流体萃取的原理和应用[M].北京:化学工业出版社,1998:70-71.
Chen Wei. Principle and Application of Supercritical Fluid Extraction [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1998: 70 - 71.
- [20] 李娟娟.含水层型地下储气库惰性气体作垫层气的模拟研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2006.
Li Juanjuan. Simulation Research of Use of Inert Cushion Gas in Underground Gas Storage Reservoir in Aquifer [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2006.