

机械液压复合套管整形工艺技术的研究与应用

范加兴

(中油辽河油田公司钻采工艺研究院钻修所, 辽宁 盘锦 124000)

摘要:辽河油田是一个有着40多年开发历史的老油田,其稠油产量占据原油产量的半壁江山,其稠油开采工艺主要为蒸汽吞吐、蒸汽驱、SAGD和火驱。以加热原油温度降低其粘度的方法,在多次生产之后套管都会不同程度地受到损坏。套管整形技术是套管修复主体技术之一。针对梨形胀管器整形技术难应用于近井口井段、液压整形技术单次整形的长度有限等问题,研制了一种新型的机械液压复合套管整形工具。新型机械液压复合套管整形工具主要由高强度合金钢多级胀头、加长管柱(选配)、液压增力器、水力锚、安全泄压装置等部分组成。通过理论计算,给出了胀头的材料强度、液压增力器推力、水力锚锚爪数量及压力阈值等建议值,通过梨形胀管器技术和复合套管整形技术现场应用对比,证实使用机械液压复合套管整形技术,可将作业时间大幅度缩短,具有良好的应用前景和推广价值。

关键词:梨形整形器;液压整形;机械液压复合套管整形技术;多级胀头

中图分类号:P634;TE357.44 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2021)08-0078-05

The research and application of the mechanical and hydraulic compound reshaping technique

FAN Jiaying

(Drilling & Repair Institute, Drilling & Production Technology Research Institute, Liaohe Oilfield Company, CNPC, Panjin Liaoning 124000, China)

Abstract: Liaohe Oilfield is an old oilfield with more than 40 years of development history. Its heavy oil production accounts for half of the crude oil production. Its heavy oil recovery technologies mainly include steam huff and puff, steam flooding, SAGD and fire flooding. With heating the temperature of crude oil to reduce its viscosity, casing will be damaged in varying degrees after several rounds of production. Casing shaping technology is one of the main technologies for casing repair. Casing deformation is prone to occur with the increase of oilfield development time. In order to ensure the production of oil fields, casing needs to be repaired by the casing reshaping process. In this paper, a new type of mechanical and hydraulic compound casing reshaping technology is developed by combining the conventional pear-shaped reshaping process with the hydraulic reshaping process. Through the optimization design of the expansion head structure, including extension of the length of the tapered guide shoe section and reduction of the taper of the guide shoe section, improvement of the steel bead strength with alloy steel used for the expansion head, which makes the steel bead strength much higher than P110 steel level, the sticking problem in the process of hydraulic reshaping construction due to the low strength of the expansion head and easy is solved. Moreover, by creatively putting forward the structure with the rigid drill collar string ahead of the expansion head, the difficulty in passing the hydraulic reshaping tool through the perforated interval has been solved successfully. The new casing reshaping technology provides fast operation of pear-like reshaping technology and strong reshaping ability of hydraulic reshaping technology. The comparison of the pear-like expanding tube expander and composite casing shaping technology shows

收稿日期:2021-01-17; 修回日期:2021-05-13 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.08.012

作者简介:范加兴,男,汉族,1981年生,工程师,钻井工程专业,硕士,从事修井工艺技术研究及现场管理工作,辽宁省盘锦市兴隆台区惠宾街91号,77948106@qq.com。

引用格式:范加兴.机械液压复合套管整形工艺技术的研究与应用[J].钻探工程,2021,48(8):78-82.

FAN Jiaying. The research and application of the mechanical and hydraulic compound reshaping technique [J]. Drilling Engineering, 2021, 48(8): 78-82.

that mechanical-hydraulic composite casing shaping technology can greatly shorten the operation time, and has good application prospect and promotional value.

Key words: pear-like casing swage; hydraulic reshaping; mechanical and hydraulic compound casing reshaping technique; multistage expansion head

0 引言

随着油田开发时间的增长,套管容易发生变形。为了保证油田的产量,须通过套管整形技术来修复套管。梨形胀管器整形技术,主要依靠管柱自身的重力对变形井段进行修复,由于管柱重力有限,特别当变形井段离井口较近时,管柱较轻,无法实施整形施工^[1-2]。液压整形技术,利用液缸的推力及管柱自重的合力,对变形井段进行修复,虽然克服了当管柱较轻时,无法施工的难题,但是液压整形技术单次整形的长度有限,对于长变形段,特别是变形幅度时大时小的情况,就需要耗费很长的作业时间^[3-5]。为了解决长变形段套管整形问题,综合梨形胀管器整形技术和液压整形技术优缺点进行了新工艺的研究。本文主要介绍机械液压复合套管整形技术工具的主要部件结构及工作原理和相关理论计算,并通过现场应用,对新技术进行了验证。

1 新型机械液压复合套管整形技术

1.1 整形工具结构及工作原理

新型机械液压复合套管整形工具主要由高强度合金钢多级胀头、加长管柱(选配)、液压增力器、水力锚、安全泄压装置等部分组成(见图1)。工具按照高强度合金钢多级胀头、加长管柱(选配)、液压增力器、水力锚、安全泄压装置由下往上依次连接后和加厚油管连接下入到施工井段。首先开泵,对于泵压大于压力阈值的情况,首先水力锚锚爪张开并锚定在套管的内壁上,液压增力器对高强度合金钢多级胀头施加垂直向下的作用力,高强度合金钢多级胀头内的芯轴杆向下运动,使径向活塞沿径向挤胀同时胀头本体向下运动对缩径井段进行修复。对于泵压小于压力阈值,管柱即能下行的情况,将高强度合金钢多级胀头当作梨形整形器使用,采用蹶压方式进行套管整形^[6-8]。

1.1.1 高强度合金钢多级胀头

高强度合金钢多级胀头结构如图2所示,由圆锥引鞋胀头、高强度钢珠、多级圆柱本体、提升短节

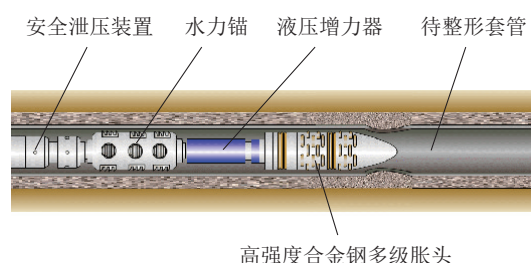


图1 机械液压复合套管整形工具

Fig.1 Mechanical-hydraulic compound casing shaping tool

等构成。该多级胀头依靠径向活塞推力使套管发生塑性变形,利用工具径向密布的钢珠对发生塑性变形的套管进行碾压,将其修复成圆形。工具分为三级,每级直径相差2 mm。

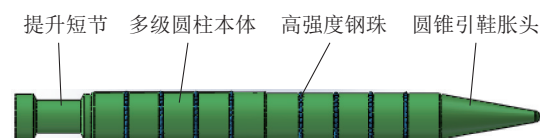


图2 高强度合金钢多级胀头

Fig.2 Multistage expansion head of high strength alloy steel

1.1.2 加长管柱

为了避免锚定管柱下入射孔井段,高强度合金钢多级胀头上面连接了一段加长管柱。加长管柱为钻铤、钻杆等高强度管材。加长管柱长度根据实际情况决定,原则是水力锚爪不能通过套管射孔顶界。

1.1.3 液压增力器

液压增力器也叫增力液缸。遵循帕斯卡定律,液压作用在活塞截面积上通过活塞杆输出载荷,通常采用多级液缸串联的形式以达到输出较大载荷的效果^[9-10]。液压增力器结构如图3所示,主要由提升短节、活塞、活塞杆、液缸、推力短节等构成。

1.1.4 水力锚

水力锚的结构如图4所示,由提升短节、压片、锚爪等组成。锚爪数量和整形井段的深度有关。井

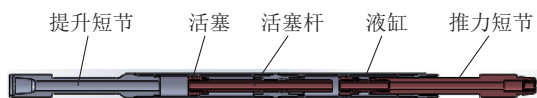


图3 液压增力器结构示意图

Fig.3 Structure diagram of the hydraulic booster

越浅,需要锚爪的数量越多。单个锚爪可以提供15 kN左右的锚定力。水力锚为单向锚爪,依靠液压锚定,启动压力为1.5 MPa左右。启动压力的具体数值一般通过室内试验确定^[11-12]。

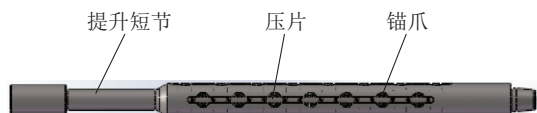


图4 水力锚结构示意图

Fig.4 Structure diagram of the hydraulic anchor

1.1.5 安全泄压装置

安全泄压装置结构如图5所示。由提升短节、锁紧环、支撑杆、推力弹簧、泄压孔等组成^[13]。安全泄压装置有2种工作状态。当本体凸键处于短轨道时,泄压孔被关闭,油套不连通,水力锚锚爪张开。当本体凸键处于长轨道时,泄压孔被打开,油套连通,水力锚锚爪收拢^[14-16]。

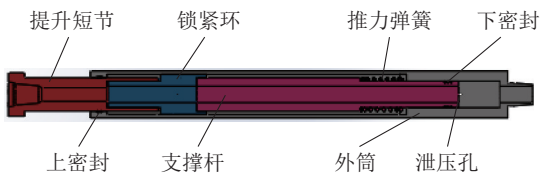


图5 安全泄压装置示意图

Fig.5 Structure diagram of the safety relief device

1.2 理论计算

1.2.1 液压增力器推力

根据帕斯卡定律,密闭液体上的压强,能够大小不变地向各个方向传播,即液压增力器每个液缸获得了相同大小的压强。液缸提供的推力由液体作用面积决定。推力大小由公式(1)确定:

$$F = P \sum_{i=1}^N \pi (R^2 - r_i^2) \times 10^{-3} \quad (1)$$

式中: F ——增力器推力,kN; P ——泵车提供的压力,MPa; N ——增力器液缸级数,无量纲; R ——增力器液缸内圆半径,mm; r_1 ——增力器活塞通孔半径,mm; r_i ——增力器活塞外圆半径,mm。

7 in(1 in=25.4 mm,下同)的液压增力器,液缸

7级,外径150 mm,壁厚15 mm,则内径为120 mm;活塞外圆半径70 mm,活塞通孔直径20 mm。假设每一级液缸结构参数相同,当泵车提供1 MPa压力时,产生的推力 $F \approx 55.7$ kN。

1.2.2 活塞杆强度校核

由欧拉公式得活塞杆的临界力:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l^2} \quad (2)$$

式中: F_{cr} ——活塞杆临界力,N; E ——活塞杆材料弹性模量,Pa; I ——惯性矩,m⁴; l ——活塞杆长度,m。

5½ in液缸活塞杆长度600 mm,活塞杆外径50 mm,活塞杆内孔内径15 mm。活塞杆材料弹性模量 E 取为200 GPa。活塞杆横截面惯性矩 $I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)$,其中 D 为活塞杆外径, d 为活塞杆通孔内径。

将以上数据代入式(2)得: $F_{cr} = 1668$ kN。这个数值即为5½ in液缸活塞杆能够提供的最大推力,大于这个力,活塞杆即发生变形。图6所示即为泵压过大,造成下推力大于活塞杆临界力,致使活塞杆发生了变形。



图6 活塞杆变形

Fig.6 Piston rod deformation

1.2.3 压力阈值

$$P_{\text{阀}} = G/F \quad (3)$$

式中: $P_{\text{阀}}$ ——压力阈值,MPa; G ——管柱悬重,取200 kN; F ——1 MPa泵压对应的液缸推力,取55.7 kN/MPa。

计算得: $P = 3.59$ MPa。也就是说如果液压整形泵车打压3.59 MPa,就能顺利整形。为了提高整形的效率,也可以利用管柱的重力机械整形。

1.3 技术参数

5½ in套管,内径121.36 mm,套管整形后套管内径可以恢复到Ø114~116 mm;

7 in套管,内径159.4 mm,套管整形后套管内径可以恢复到Ø150~154 mm。

2 现场应用

2.1 待整形井基本情况

待修井换封作业时,下 $\varnothing 105$ mm通井规通至1398.68 m遇阻。该井油层套管钢级为P110,套管内径121.36 mm,套管壁厚为9.17 mm。测井解释

结果见表1,根据测井结果该井的最大套管变形量为44.6 mm,变形幅度为36.7%。变形段长度达到4 m。该井套管变形位置1395.00~1399.00 m、1432.00~1435.00 m,与测井结果保持一致。

表1 待修井MFC测井解释成果(内径)

Table 1 MFC logging interpretation results for a candidate workover well (inner diameter)

序号	起始深度/m	终止深度/m	厚度/m	正常半径/mm	最大半径/mm	最小半径/mm	解释结论	备注
1	1395.00	1399.00	4.00	60.68	84.79	38.38	严重变形	射孔层
2	1432.00	1435.00	3.00	60.68	66.05	57.05	轻微变形	射孔层

2.2 整形技术选择分析

梨形胀管器主要依靠管柱的重力产生的冲击力对变形套管进行修复,对于井深不到2000 m、管柱悬重有限、套管钢级高及套管变形幅度大的问题梨形胀管器工艺技术尚无在此井况下实施成功的先例。

液压整形工艺技术要求液压整形作业时,水力锚不能位于射孔井段。待修井的井况为:射孔井段1377.70~1434.80 m,缩径井段1395.00~1399.00、1432.00~1435.00 m。如果使用液压整形工艺技术,水力锚必然位于射孔井段。液压整形工艺技术就是牺牲作业时间赢得大的作用力。单次行程200 mm,一次液压整形施工时间10 min左右。严重变形井段反复整形次数为10次左右。对于7 m长的缩径井段需要的整形时间大约为58.3 h。

将梨形胀管器工艺和套管液压整形工艺相结合创立机械液压复合套管整形工艺技术。利用式(3)计算压力阈值,便宜使用机械液压复合套管整形工艺技术。

2.3 机械液压复合套管整形工艺技术现场应用

采用机械液压复合套管整形工艺技术,分别下入 $\varnothing 110$ 、114、116 mm机械液压复合套管整形工具。3次整形后, $\varnothing 114$ mm $\times$ 2 m整筒式通井规顺利通过变形井段通至人工井底1527 m。作业时间缩短3 d,缩短幅度37.5%。针对套管钢级高壁厚的特点,研制了专门针对高钢级整形的高强度合金钢多级胀头。现场使用2种胀头(见图7、图8)。改进后的高强度合金钢多级胀头能够经受住套管整形的压力。针对缩径难度大难题,增加圆锥引鞋胀头的长度,以减小圆锥引鞋胀头的锥度,同时下 $\varnothing 110$ 、114、116

mm三个型号的整形胀头,确保套管整形的成功率。针对缩径段在射孔段以下20 m的情况,采取中间连接高强度管柱的办法。接钻铤6根。成功解决了水力锚不能穿过射孔井段的问题。



图7 改进前的胀头

Fig.7 Expansion head before improvement



图8 改进后的胀头

Fig.8 Improved expansion head

3 结论

(1)机械液压复合套管整形工艺技术成功解决了P110以上钢级高强度套管长变形段整形问题,快速高效。

(2)机械液压复合套管整形工艺技术压力阈值公式的提出提高了该套管整形技术理论化程度。

(3)机械液压复合套管整形工艺技术目前已成功应用10井次,表明机械液压复合套管整形工艺技术具有较好的推广价值。

参考文献(References):

[1] 杨斌.套损井修复配套技术研究[D].青岛:中国石油大学(华

- 东), 2007.
- YANG Bin. Research on repair technology of casing damaged well[D]. Qingdao: China University of Petroleum, 2007.
- [2] 于好善, 王成彪, 杨甘生, 等. 膨胀套管护壁技术研究现状及其工作原理[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(3): 1-4.
- YU Haoshan, WANG Chengbiao, YANG Gansheng, et al. Study situation of expandable casing technology and the working principle[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011, 38(3): 1-4.
- [3] 曾立桂. 液压扩径整形技术在套管变形井杜813-42-63中的应用[J]. 特种油气藏, 2011, 18(6): 120-122.
- ZENG Ligui. Application of hydraulic expanding and shaping technology in casing deformation Well Du813-42-63[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2011, 18(6): 120-122.
- [4] 石俊生, 古小红, 宋迎春, 等. 普光气田套管变形井滚压整形修复技术[J]. 天然气工业, 2009, 29(6): 52-54.
- SHI Junsheng, GU Xiaohong, SONG Yingchun, et al. Rolling shaping repair technology of casing deformation well in Puguang Gas Field[J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(6): 52-54.
- [5] 郭强, 张德龙, 黄玉文, 等. 可膨胀波纹管水力膨胀力学特性研究[J]. 钻探工程, 2019, 46(12): 50-55.
- GUO Qiang, ZHANG Delong, HUANG Yuwen, et al. Research on mechanical properties of expandable profile liners under hydraulic expansion[J]. Drilling Engineering, 2019, 46(12): 50-55.
- [6] 曲晓建, 李玉坤, 卜凡俭, 等. 油水井液压胀管整形修复工具设计[J]. 石油机械, 2011, 39(8): 66-68.
- QU Xiaojian, LI Yukun, BU Fanjian, et al. Design of hydraulic expanding pipe shaping and repairing tool for oil and water wells[J]. China Petroleum Machinery, 2011, 39(8): 66-68.
- [7] 王纬星, 武瑞霞, 李在训, 等. 液压变径滚压套管整形技术[J]. 石油机械, 2010, 38(7): 86-87.
- WANG Weixing, WU Ruixia, LI Zaixun, et al. Shaping technology of hydraulic variable diameter rolling casing[J]. China Petroleum Machinery, 2010, 38(7): 86-87.
- [8] 韩中轩, 练章华, 杨斌, 等. 膨胀管中膨胀锥角与液压力关系研究[J]. 石油矿场机械, 2009, 38(9): 9-11.
- HAN Zhongxuan, LIAN Zhanghua, YANG Bin, et al. Study of relationship between expansion cone and fluid pressure[J]. Oil Field Equipment, 2009, 38(9): 9-11.
- [9] 秦世群, 张其松, 谷爱民, 等. 套管机械整形及加固技术在河南油田的应用[J]. 河南石油, 2005, 19(1): 64-66.
- QIN Shiqun, ZHANG Qisong, GU Aimin, et al. Application of casing mechanical shaping and reinforcement technology in Henan Oilfield[J]. Henan Petroleum, 2005, 19(1): 64-66.
- [10] 尹锐, 王兴玺, 郑党明, 等. 套管复合整形技术研究及应用[J]. 石油机械, 2005, 33(6): 66-67.
- YIN Rui, WANG Xingxi, ZHENG Dangming, et al. Research and application of casing compound shaping technology[J]. China Petroleum Machinery, 2005, 33(6): 66-67.
- [11] 卢予北. 地热深井过滤器挤毁事故成因与处理技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2006, 33(3): 41-43.
- LU Yubei. Causes and treatment technology of filter collapse accident in geothermal deep well[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2006, 33(3): 41-43.
- [12] 张洪宝. 辽河油田高效液压套管整形工具的研制与应用[J]. 石油钻探技术, 2016, 44(3): 101-104.
- ZHANG Hongbao. The development and application of a high efficiency hydraulic casing restoration tool[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2016, 44(3): 101-104.
- [13] 史健搏. 水平段套管变形井整形方式探讨[J]. 采油工程文集, 2017(3): 53-56, 90.
- SHI Jianbo. Discussion on the reforming methods for casing deformation well at horizontal section[J]. Oil Production Engineering, 2017(3): 53-56, 90.
- [14] 蒋晓波. 套损水平井悬挂衬管加固配套技术的研究与应用[J]. 钻采工艺, 2012, 35(6): 78-80, 12.
- JIANG Xiaobo. Research and application of hanging liner reinforcement technology for casing damaged horizontal wells[J]. Drilling & Production Technology, 2012, 35(6): 78-80, 12.
- [15] 王维星, 武瑞霞, 李在训, 等. 液压变径滚压套管整形技术[J]. 石油机械, 2010, 38(7): 86-87.
- WANG Weixing, WU Ruixia, LI Zaixun, et al. Shaping technology of hydraulic variable diameter rolling casing[J]. China Petroleum Machinery, 2010, 38(7): 86-87.
- [16] 赵志辉. 组合式液压胀管整形修复技术[J]. 石化技术, 2018, 25(6): 126.
- ZHAO Zhihui. Reconstruction and repair technology of combined hydraulic bulging tube[J]. Petrochemical Industry Technology, 2018, 25(6): 126.

(编辑 荐华)