

连续油管扫塞工艺在塔河地区的应用

赵兴华,夏福良,王 蒙

(中国石化 西北油田分公司 完井测试管理中心,新疆 轮台 841600)

摘要:近几年连续油管以其独特的优势被各大油田引进,广泛应用于油气田钻、完、修井及测井等各个施工作业中,在油气田勘探与开发中发挥着越来越重要的作用。该文介绍了连续油管扫塞工艺的原理、优缺点、地面装置及入井工具,以塔河工区 TK7219CH 井为例,对连续油管扫塞过程中双机泵泵压、扫塞进尺、施工时效及作业质量进行了评价,并对此工艺应用前景和发展方向进行了展望。

关键词:连续油管;扫塞工艺;钻井;塔河油田

中图分类号:TE24

文献标识码:A

Plug sweeping in coiled tubing in Tahe Oilfield

Zhao Xinghua, Xia Fuliang, Wang Meng

(Completion Test Management Center, SINOPEC Northwest Company, Luntai, Xinjiang 841600, China)

Abstract: In recent years, due to its unique advantages, coiled tubing was introduced by many oilfields. It was widely used in oil and gas drilling, completion, workover, well logging and other construction operations, and played an increasingly important role in oil and gas exploration and development. It was introduced in this paper the principles, advantages and disadvantages, ground equipments and downhole tools of plug sweeping in coiled tubing. A case study was made in the well TK7219CH in the Tahe Oilfield in order to evaluate double pumping pressure, sweeping depth and working efficiency. The prospect and developing direction of this technique were also discussed.

Key words: coiled tubing; plug sweeping; well drilling; Tahe Oilfield

连续油管技术自 1960 年开始应用于石油工业至今,因其特有的技术优势,即可以不压井作业、节约成本、尺寸小、替代一些常规作业、效率及作业质量高等,在各大油气田的应用范围越来越广泛。目前,国内连续油管作业机主要应用于以下几个方面:冲砂洗井、射孔、地层酸化、压裂、测井、打捞、除垢/除蜡/清沙、钻井、气举排液等^[1-2]。本文针对小井眼无法用常规钻杆/油管实现扫塞,而采用连续油管进行扫塞作业。

1 连续油管扫塞工艺

1.1 连续油管扫塞工艺介绍

连续油管扫塞工艺是指连续油管下带钻磨工具串到达井下目的位置,双机泵将工作液泵注到工具串驱动螺杆马达,进而带动磨鞋转动磨铣水泥塞,被破碎的磨铣物在高压水射流作用下迅速离开井底而流向环空,通过泥浆循环带出井筒,从而达到扫塞目的。在连续油管扫塞过程中,需要合理控

制工作压差和钻压^[3-4]。

连续油管扫塞设备主要包括连续油管设备及双机泵。连续油管设备主要包括油管注入器、井口防喷器、工作滚筒、液压动力源和操作间。油管注入器可以为克服油井压力或摩擦力提供更强劲的起下油管作业能力,有效控制不同井况下的起下速度,它支撑着全井筒连续油管的重量。在注入器底部用法兰连接着液压驱动防喷盒,简称动密封,利用液压控制打开或关闭^[5-6]。

连续油管防喷器安装在井口或注入器下方,它由液压控制的 4 部分组成,每组芯子有其独立特殊功能,从上到下依次是全封、剪切、卡瓦、半封^[7-8]。

双机泵是在扫塞过程中向连续油管内输送泥浆或水等冲洗液的机械。双机泵的柱塞为 3" 和 3¹/₂" ,根据排量选择不同柱塞,当需要排量大时,选用大柱塞工作。

连续油管扫塞井下工具组合主要有磨鞋、单流阀、扶正器和螺杆马达。连续油管与井下工具连接

主要靠外卡瓦接头,连接原理与卡瓦式套管悬挂器类似,靠倒齿将连续油管卡紧。单流阀为双活瓣单流阀,是防喷、防溢流的配合工具,是控制管柱内流体流动的开关。扶正器是为了防止连续油管在扫塞过程中晃动,可以防止连续油管不居中而使磨鞋对套管偏磨,导致套管磨烂等。螺杆马达是一种容积式马达,以钻井液为动力液的井下动力钻具。

1.2 连续油管扫塞工艺优缺点

1.2.1 连续油管扫塞工艺优点

(1)连续油管扫塞设备安装方便,搬迁迅速。控制室只需一人控制,井口无需人员配合,大大地降低了劳动强度。(2)降低作业成本,增加效益。(3)连续油管进入稳斜段时,开泵循环,边下边循环,避免了因井筒杂质或砂沉淀而造成砂卡现象。(4)由于连续油管的柔韧性好,进入稳斜段、水平段时,与套管的磨损要比钻杆小得多。(5)连续油管无接头、无变径、弯曲大、强度大、承压高、体积小、能连续起下及实现动态密封。(6)主要特色是小井眼、欠平衡、多侧向、短半径,可以应用于小井眼井^[9]。

1.2.2 连续油管扫塞工艺缺点

(1)管径较小,会产生较大的注液摩阻力,这样会导致钻井液在连续油管内流动速度慢,且井口泵压高。(2)连续油管盘绕在滚筒上,每次使用前后都需要将连续油管进行弯曲,并且弯曲方向都不一样,这样会导致使用寿命降低。(3)连续油管属于柔性管,由于自身重力作用下入井内会使连续油管伸长。注入压力越大,拉伸越大,且井内连续油管成“S”型贴管壁,不能准确的定位,需要借助其他工具完成定位^[10-12]。

2 连续油管扫塞工艺现场应用

2.1 基本数据

2.1.1 TK7219CH 井基本概况

TK7219CH 井是位于塔河油田阿克库勒凸起南斜坡的一口开发井,为斜井,造斜点 4 110 m,造斜点层位 K_1s 。该井于 2009 年 9 月 28 日开钻,2009 年 10 月 28 日完钻,完井方式为射孔完井。2014 年 1 月 7 日该井关井,准备向南东 145° 方位侧钻。该井侧钻井深结构为 7"套管+ $5\frac{1}{2}$ "套管悬挂器+变丝+ $4\frac{1}{2}$ "套管,采用尾管悬挂固井方式固井。

2.1.2 应用连续油管扫塞作业原因

TK7219CH 井原井井身结构为 7"套管回接至井口,侧钻井深结构为 7"套管+ $5\frac{1}{2}$ "套管悬挂器+

变丝+ $4\frac{1}{2}$ "套管。 $4\frac{1}{2}$ "套管外径 114.3 mm,壁厚 7.37 mm,内径 99.56 mm。

(1)无法用钻杆扫塞作业:塔河工区常用的最小钻杆尺寸为 $2\frac{7}{8}$ ",接箍外径为 100.41 mm,小于 $4\frac{1}{2}$ "套管内径。

(2)不能选择油管扫塞作业:目前常用的油管多数为 $3\frac{1}{2}$ "及 $2\frac{7}{8}$ ",如果用 $2\frac{7}{8}$ "油管带螺杆钻具进行扫塞作业, $2\frac{7}{8}$ "接箍外径为 95 mm, $4\frac{1}{2}$ "套管内径 99.56 mm,作业风险高。

结合以上情况,TK7219CH 井选择连续油管下带 93 mm 磨鞋进行扫塞作业。

2.2 施工记录

2014 年 6 月 17 日对 TK7219CH 进行连续油管扫塞作业,扫塞过程中共入井趟数 9 次,入井管串结构、工况及施工情况见表 1,井口返出物有水泥残屑、胶塞、铁屑及铝屑。扫塞结束后,对全井筒试压 20 MPa,试压合格,说明此次连续油管扫塞作业成功。

2.3 现场施工情况分析

2.3.1 双机泵泵压分析

在扫塞作业过程中,引起双机泵车泵压变化的原因很多,总结如下:

(1)泥浆性能变化。温度因素:当气温较高时,泥浆黏度降低,摩阻减少,相同情况下泵压变小。黏度因素:由于泵入连续油管内的高黏泥浆返回到低黏的泥浆罐中,使低黏泥浆黏度变高,因此连续油管内的泥浆黏度变高,摩阻增大,相同情况下泵压变大。

(2)柱塞影响。随着双机泵车运行时间的增加,柱塞发生磨损,泵效变小,此时泵车要达到柱塞磨损前相同的排量,需增加泵压。

(3)高压滤芯堵塞。由于泥浆中存在较大的固体颗粒,随着双机泵车运行时间的增加,大固相颗粒将堵塞高压滤芯,减小了流体的过流面积,增大了摩阻,使泵压增大。

(4)环形盘管摩阻影响。连续油管盘在滚筒中时,流道为环形通道,环形通道相比于直线通道的摩阻大,使泵压变大。

(5)连续油管下深。随着连续油管下入深度的增加,由于流体通道由环形变为直线通道,摩阻变小,但是流体在环空中与连续油管外壁与套管内壁产生摩擦,泵压需多克服这段摩阻,现场施工发现,泵压先减小后增加。

(6)泵车排量影响。泵车排量越大,流体与连续油管以及环空中的摩阻越大,泵压变大。

表 1 塔河油田 TK7219CH 井扫塞施工过程统计

Table 1 Statistics of plug sweeping in coiled tubing, well TK7219CH, Tahe Oilfield

入井趟数	管柱组合	工况	工具磨损情况	返出物
1	五刃磨鞋+螺杆马达+接头+钢扶+单流阀+外卡瓦接头+连续油管	扫塞	五刃磨鞋钨钢大部分脱落且一水眼堵死,螺杆钻具表面无划痕,刚性扶正器与连接变丝处有轻微渗漏,卸开后发现扶正器下部丝扣有刺漏痕迹	碎胶皮(胶皮直径约 1~3 cm)、水泥屑、铁屑
2	五刃磨鞋+螺杆马达+接头+钢扶+单流阀+外卡瓦接头+连续油管	划眼	五刃磨鞋钨钢合金齿脱落 5 个,螺杆钻具表面无划痕,其他附件均正常	部分碎胶皮、水泥屑、铁屑
3	62 mm 冲洗头+73 mm 接头+单流阀+外卡瓦接头+连续油管	洗井	冲洗头完好	部分水泥屑,未冲洗出胶皮
4	五刃磨鞋+螺杆马达+接头+钢扶+单流阀+外卡瓦接头+连续油管	扫塞	五刃磨鞋、扶正器表面有轻微划痕,未发现井下工具严重划伤痕迹	部分水泥屑
5	连续油管	大排量洗井	工具完好	部分胶皮,返出水泥屑的粒度、硬度明显大于前期返出的水泥屑
6	铣锥+双公接头+螺杆马达+接头+钢扶+单流阀+接头+外卡瓦接头+连续油管	铣锥处理井筒	工具完好	少量碎胶皮、水泥屑、铁屑
7	平底磨鞋+螺杆马达+接头+钢扶+单流阀+接头+外卡瓦接头+连续油管	扫塞	平底磨鞋表面有轻微划痕,底部有部分磨齿掉落,一小块铝块粘卡在磨齿间隙中,螺杆钻具运转良好	水泥屑、水泥块、铝屑
8	平底磨鞋+变扣接头+扩眼器+接头+螺杆马达+接头+钢扶+单流阀+接头+外卡瓦接头+连续油管	扩眼器处理井筒	螺杆钻具运行良好,未见扩眼器的回位胶圈,判断已磨损落井,两片刮刀已磨坏	返出少量水泥屑
9	冲洗头+73 mm 接头+单流阀+外卡瓦接头+连续油管	洗井	冲洗头完好	返出部分水泥屑

表 2 第一趟和第七趟扫塞情况对比分析

Table 2 Comparative analysis of first trip and seventh trip in plug sweeping

趟数	作业日期	作业时间段	作业时间/h	扫塞井段/m	进尺/m	扫塞速度/($\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$)
第 1 趟 五刃磨鞋	2014-06-17	13:00-17:00	4	4 637.7~4 651	13.3	3.325
		17:00-20:00	3	4 651~4 652.5	1.5	0.5
	2014-06-18	22:00-9:00	11	4 652.5~4 656.4	3.9	0.354
		14:00-17:00	3	4 656.4~4 666.6	10.2	3.4
		17:00-24:00	4	4 666.6~4 680	13.4	3.35
	2014-06-19	21:00-24:00	3	4 680~4 683.5	3.5	1.167
		7:00-9:00	2	4 683.5~4 685.2	1.7	0.85
		9:00-17:00	8	4 685.2~4 695.8	10.6	1.325
		17:00-20:30	3.5	4 695.8~4 710	14.2	4.057
第 7 趟 平底磨鞋		2014-06-29	9:00-16:00	7	4 710~4 745	35
	2014-06-30	17:00-21:00	4	4 745~4 774	29	7.25
		21:00-21:30	0.5	4 774~4 776.6	2.6	5.2

(7) 电子流量计影响。电子流量计读数有时会不准,造成显示的泵压不准确。

2.3.2 扫塞进尺分析

本次扫塞施工作业有进尺的主要是第 1 趟和第 7 趟,其他趟扫塞作业没有进尺,对这两趟的进尺进行统计(表 2),分析如下:

(1) 不考虑胶塞与球座的影响,93 mm 五刃磨鞋扫塞平均速度为 3.53 m/h,95 mm 平底磨鞋扫塞

平均速度 5.8 m/h,95 mm 平底磨鞋扫塞效果优于 93 mm 五刃磨鞋;(2) 由于扫塞作业至 4 651~4 652 m 时,扫塞速度很慢,进尺变小的幅度较大,判断胶塞位于 4 651 m 左右;之后扫塞速度变化程度较大,现场判断为胶塞、水泥屑未完全被携带上来;(3) 在相同钻压情况下,增大泵入排量,扫塞效果变好,说明泵压是控制排量的主要因素;(4) 扫塞作业时效应考虑划眼作业的因素,不能仅仅以扫

表 3 第一趟和第七趟连续油管扫塞时效对比

Table 3 Comparative analysis about plug sweeping efficiency of first trip and seventh trip

趟数	扫塞井段/m	扫塞 时间/h	划眼 时间/h	作业 时间/h	进尺/ m	扫塞速度/ (m·h ⁻¹)	总进 尺/m	总时 间/h	平均速度/ (m·h ⁻¹)
第 1 趟 五刃磨鞋	4 637.7~4 652.5	7	2	9	14.8	1.64	72.3	62	1.166
	4 652.5~4 656.4	11	5	16	3.9	0.244			
	4 56.4~4 683.5	10	7	17	27.1	1.594			
	4 683.5~4 710	13.5	6.5	20	26.5	1.325			
第 7 趟 平底磨鞋	4 710~4 745	7	1	8	35	4.375	66.6	13.5	4.93
	4 745~4 776.6	4.5	1	5.5	31.6	5.745			

塞速度为指标。

2.3.3 施工时效分析

在整体扫塞过程中,对施工时效分析时需考虑划眼作业的时间,对扫塞作业的时效进行计算(表 3),分析如下:第 1 趟的总进尺为 72.3 m,总施工时间 62 h,平均作业速度为 1.166 m/h;第 7 趟的总进尺为 66.6 m,总施工时间 13.5 h,平均作业速度为 4.93 m/h。

2.3.4 作业质量分析

(1)出口返出量分析。TK7219CH 连续油管扫塞作业中,当扫至 4 710 m 时,按 93 mm 钻头计算,返出的水泥残屑体积理论值为 490 L,而实际作业中滤出的固相颗粒体积为 21 L,远远小于理论值。主要原因是返出的水泥残屑体积极小,120 目的振动筛未能过滤完全,而通过除泥器、除砂器及离心机排出,这部分水泥残屑的体积计量比较困难。

(2)扫塞终点控制。TK7219CH 井固井作业的上浮箍位于 4 775.83~4 776.06 m,扫塞目的深度为 4 776 m,当连续油管扫塞至 4 776.6 m 循环洗井过程中,发现了大量铝屑从出口处返出,判断已扫至目的深度,彻底循环洗井后提钻—扫塞结束。

3 结论与建议

(1)同等情况下,平底磨鞋的扫塞速度大于五刃磨鞋的扫塞速度;扫胶皮的速度较慢,扫水泥塞与铝制球座的速度相当。

(2)在扫胶塞中建议采取低钻压、高钻速,尽可能将胶皮扫散,防止卡钻事故。

(3)扫塞作业过程中扫塞进尺、划眼以及起钻时间判别标准模糊,建议改进判别方法。

(4)连续油管扫塞过程中,采用计数器计量入井深度。但是由于连续油管属于柔性管,入井后由于重力作用导致弹性变形,且随着注入压力的增大,变形也加大,下入井内的连续油管成“S”型贴管壁,不能实现精确定位。建议在连续油管扫塞井

下工具串中加入 CCL 磁性定位仪,实现对深度准确定位。

(5)在扫塞过程中造成卡钻的主要原因有球座扫塞不彻底—有台阶面、胶塞和球座破碎不均匀以及循环洗井不彻底。在今后的扫塞作业中建议扫完球座后立即起钻,用铣锥处理后再继续扫塞作业。

(6)连续油管扫塞入井工具扣型为 REG 型粗扣,密封方式为台阶密封,目前现场使用管钳和倒链进行上扣,完全凭经验判断,无法确定上扣扭矩,并且也无法保证是否完全上扣。如果上扣不到位,入井后可能出现泄露,影响马达的正常工作,也可能造成井下工具落井等井下事故。建议连续油管队购置扭矩仪,确定井下工具上扣扭矩。

(7)塔河油田 TK7219CH 井连续油管扫塞实验的成功,说明连续油管扫塞技术能够解决小井眼扫塞问题,再一次验证了连续油管扫塞的可行性。一项新工艺从开始试用到后期大范围使用,需要一个长期的过程,很多施工步骤及注意事项仍需进一步完善。随着连续油管设备的更新及技术的不断进步,相信连续油管水平井扫塞工艺将得到广泛应用。

参考文献:

[1] 王峻乔.连续油管技术分析与研究[J].石油矿场机械,2005,34(5):34-36.

[2] 王海涛,李相方.连续油管技术在井下作业中的应用现状及思考[J].石油钻采工艺,2008,30(6):120-123.

[3] 古磊磊,林君,岳龙,等.浅谈梁平 1 井连续油管钻磨工艺[J].中国石油和化工标准与质量,2013,11(6):156.

[4] 向刚,卢秀德,宋丹.连续油管钻磨工艺螺杆马达特性分析及现场应用[J].钻采工艺,2013,37(1):75-78.

[5] 傅阳朝,李兴明,张强德.连续油管技术[M].北京:石油工业出版社,2000:6-7.

[6] 李大公,朱长发.连续油管综述[J].国外石油机械,1995,6(3):22-33.

[7] 贺会群.连续油管技术与装备发展综述[J].石油机械,2006,34(1):1-6.

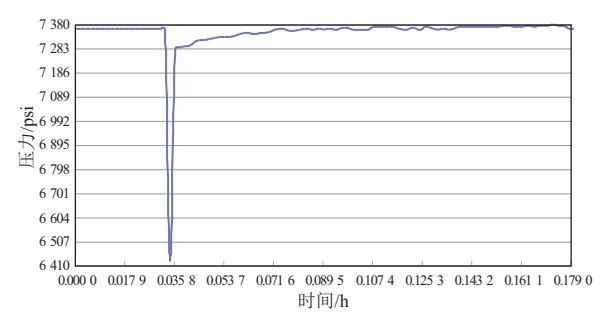


图 4 塔河油田 TH10315X 井毛细管监测曲线

Fig.4 Graph of capillary monitoring in well TH10315X, Tahe Oilfield

无进液和漏点现象,所测数据真实可靠。

计量求产期间该井油套压较稳定,地面数据同时显示地层压力未出现较大的波动,表明该技术较好地实行了地层压力监控,毛细管及传压筒工作正常。

3 结论

- (1)毛细管测压工艺对井况适应性好,运转稳定,测试资料准确,检修方便,满足塔河油田十区及十二区区块超深超稠及高温高压等条件测试的要求。
- (2)毛细管测压系统与常规测试仪器相比,井下部分结构简单,无电器元件,抗腐蚀,不易损坏,使用寿命长^[1]。

- (3)毛细管测压系统可长期重复使用,实时进行压力监测,可完成常规测试、探边、干扰等试井项目,同时可实现单层测试和分层测试。
- (4)毛细管测压系统正常监测不需起下测试装置,不影响油井正常生产,综合费用低。

参考文献:

[1] 王民轩,王世杰,刘殷韬,等.毛细管测压技术及应用[J].石油钻采工艺,1998,20(2):72-76.

[2] 王志愿,黄淑荣,卢梅,等.毛细管测压技术在大港油田的应用[J].油气井测试,2005,14(1):65-66.

[3] 迟鹏,李常友,郑金中,等.渤海 6 区块毛细管测压系统的应用[J].油气井测试,2005,14(3):48-49.

[4] 宫恒心,饶文艺,朱家欢.毛细管测压系统简介[J].石油钻采工艺,1998,20(1):94-97.

[5] 李虞庚.试井手册[M].北京:石油工业出版社,1992.

[6] 张鹏,党瑞荣.毛细管油井测压的理论研究[J].石油仪器,2008,22(2):22-23.

[7] 何生后.油气开采工程师手册[M].北京:中国石化出版社,2006.

[8] 张权,李循迹,卞俊学,等.毛细管测压装置在塔里木油田的应用[J].油气井测试,2003,12(4):53-54.

[9] 徐东,刘芳,杨乃群,等.光纤测温、毛细钢管测压系统在现场中的应用[J].石油钻采工艺,1999,21(5):104-106.

[10] 华陈权,王昌明.毛细管测压技术的温度补偿[J].仪器仪表学报,2006,27(6):1181-1182.

(编辑 黄 娟)

~~~~~

(上接第 142 页)

[8] 邓如明,王欣.连续油管气举诱喷技术在土库曼斯坦萨曼杰佩气田老井修井中的应用[J].钻采工艺,2010(4):122-123.

[9] 董社霞.国内发展连续油管技术的条件分析[J].特种油气藏,2005,12(3):9-11.

[10] 钟守炎,杨永详.挠性油管及其在油气工业中的应用[J].石油钻探技术,1998,26(4):35-37.

[11] 黄志潜,刘天民.连续油管作业技术文集[M].北京:石油工业出版社,1998:3-5,10-13.

[12] 刘海浪,柯仲华,赵振峰.小井眼和连续油管技术的进展与应用[M].北京:石油工业出版社,1998:58-61.

(编辑 徐文明)