

连续管冲砂在油水井作业施工中的应用

雒新辉

油气井下作业中心滨南作业区

DOI: 10.12238/ems.v5i9.8449

[摘要] 随着油气田开发的不断深入, 井下复杂情况日益增多, 严重影响了油气井的正常生产, 传统的解堵方法往往效率低下, 且对储层造成较大损害。连续管技术作为一种新兴的油气井下作业技术, 以其操作的高效性、灵活性和环保性, 在油气田开发与维护中扮演着越来越重要的角色。通过地面设备和井下工具的协同作用, 该技术能够直接将冲洗流体送至堵塞区域, 有效解除油气井中的各类堵塞问题。现场应用案例表明, 连续管冲砂解堵技术能够显著降低作业难度和费用, 同时最大限度地减少储层损害, 为油田的高效开发提供了有力支持。

[关键词] 连续管技术; 冲砂解堵; 油田作业; 高效开发

The application of continuous pipe sand flushing in oil and water well operation construction

Luo Xinhui

Binnan Operation Area of Oil and Gas Downhole Operation Center

Abstract: With the continuous deepening of oil and gas field development, the complexity of underground situations is increasing, which seriously affects the normal production of oil and gas wells. Traditional blockage removal methods are often inefficient and cause significant damage to the reservoir. Continuous pipe technology, as an emerging downhole operation technology for oil and gas, plays an increasingly important role in the development and maintenance of oil and gas fields due to its high efficiency, flexibility, and environmental friendliness. Through the synergistic effect of surface equipment and downhole tools, this technology can directly send flushing fluid to the blocked area, effectively solving various blockage problems in oil and gas wells. On site application cases have shown that the continuous pipe sand flushing and plugging removal technology can significantly reduce the difficulty and cost of operations, while minimizing reservoir damage, providing strong support for the efficient development of oil fields.

Keywords: Continuous tube technology; Sandwashing and unblocking; Oilfield operations; Efficient development

1 引言

连续管技术作为一种高效、灵活的油气井作业手段, 已广泛应用于油气田的勘探、开发、生产和维护等各个阶段。该技术在连续管技术的应用领域中, 冲砂解堵技术是一项重要的分支。该技术利用连续管作为工作介质, 将冲洗流体直接送至堵塞区域, 通过物理冲刷作用解除堵塞。与传统的解堵方法相比, 连续管冲砂解堵技术具有更高的作业效率、更低的作业难度和费用, 以及对储层的最小损害。

2 连续管技术概论

2.1 连续管技术原理

连续管技术 (Coiled Tubing, CT) 涉及使用一根长、连续的钢管进行油气井的作业和干预。与传统的钻杆或油管作业不同, 连续管是从一个大卷上卷放下去, 能够在不停泵、不作业的情况下实现进井口。这项技术最初是为军事目的开发的, 但很快就被油气行业采用^[1]。

技术的核心设施包括卷筒、注入器、井口控制设备及流体管理系统。卷筒用于存放连续管, 注入器控制连续管进

出井口,井口控制设备(如吹防器)确保作业过程的安全性,而流体管理系统则负责管理作业中所使用的流体。通过注入器将连续管送入井中执行各项作业,如清洗、射孔、采样或干预措施,无需将管柱完全拉出井外进行连接或拆解,显著提高了作业效率并降低了风险^[2]。

2.2 连续管技术的应用领域

连续管技术(CT技术),作为一种高效、灵活的油气井作业手段,已广泛应用于油气田的勘探、开发、生产和维护等各个阶段。在钻井领域,CT技术特别适用于小直径井、侧钻作业以及钻井时的井底清洁,有效提高了钻井效率和安全性。在完井作业中,CT被用于射孔、屏障下放、化学处理和油气层刺激,如水力压裂和酸化处理,这些操作有助于优化油气井的产能和延长井的生命周期。在井下修井和干预方面,CT技术能进行高效的沉积物清除、堵漏、打捞及阻塞物移除等作业,同时还可用于实施井内测量和监测,如下传测井工具进行温度、压力监测,确保了井况的实时评估和监控。此外,CT技术在应对紧急井控事件和废弃井封堵中也显示出其独到的优势,能够快速、安全地解决井下问题,降低环境风险。CT技术的广泛应用不仅体现了其在提高作业效率、保障作业安全及环境保护方面的独特价值,也展现了其在油气田全生命周期管理中的关键作用^[3]。

3 连续管冲砂解堵技术

3.1 技术简介

连续管冲砂解堵技术,以其高效、实用和经济的优势,在油田生产中得到广泛应用,特别是在处理一些传统方法难以克服的井下复杂情况时表现出色。这项技术主要针对油气井中的堵卡问题,如压裂过程中的沉砂堵塞、稠油凝结、气井中的水合物冰堵,以及严重结蜡等情况,为井下管柱被堵卡提供了高效的解决方案^[4]。连续管冲洗解堵技术的核心在于使用连续管作为工作介质,直接将冲洗流体送至堵塞区域,通过物理冲刷作用解除堵塞,从而恢复井的正常生产。与传统方法相比,连续管技术能够显著降低作业难度、减少作业时间和费用,同时也最大限度地减少了对储层的损害。在无法建立循环或不能起出井下管柱的复杂情况下,连续管冲洗显示出其不可比拟的优越性,成为油田解决井下复杂问题的重要技术手段^[5]。

4 现场应用

XXX-1井是苏里格气田一口直井,在压裂完放喷排液期间发生砂堵,通过采用连续管技术进行油管内冲砂解堵,成功恢复了气层产能。

4.1 基本情况

XXX-1井为5½"套管完井,井内为Ø60.32mm油管完成压裂管柱,压裂后放喷出液30方后停喷,使用水泥车正向、反向洗井均不通,怀疑油管发生砂堵,试井车软探砂面遇阻深度为3285m,上提管柱负荷40t未松动(管柱原悬重25t),分析认为井内管柱被砂埋,需要冲砂解堵,为后期诱喷排液准备,以恢复气层产能。

井筒及压裂前管柱相关规格参数见表1。

表1 施工井套管和油管规格

外径(mm)	内径(mm)	壁厚(mm)	内容积(L/m)
139.7	121.36	9.17	11.56167594
60.32	50.66	4.83	2.014651946

对于油管内连续管冲砂,因为管柱内径局限性,而且套管内存在沉砂,冲砂方式采用连续管正循环冲砂。

4.2 施工难点分析

在施工过程中,井内管柱的内径相对较小,仅为50.66mm,限制了可用连续管的规格选择,目前只有1.25英寸(31.75mm)和1.5英寸(38.1mm)两种规格。由于管径的限制,冲砂作业时会遇到较大的摩擦阻力和高泵压,这增加了砂卡的风险。此外,冲砂作业需覆盖的井段长达335米,不仅冲砂时间较长,而且一旦进入套管,由于容积的增大,返砂将变得更加困难。该地区油藏的低压力系数还增加了地层漏失的可能性,进一步提高了冲砂的难度。同时,由于油套管环空内存在砂堵,缺乏有效的方法来解决环空砂堵问题。

鉴于上述施工难点,我们进行了多种施工方案的详细分析和论证。通过权衡比较,目标是尽可能地降低冲砂施工的风险。为此,我们制定了一系列对策,以确保冲砂施工能够顺利进行。

4.3 施工对策分析

4.3.1 在Ø60.32mm油管内冲砂时连续管规格的选择

(1)冲砂时,为了使冲砂液将砂粒带至地面,冲砂液在井内的上升速度必须大于最大直径砂粒的自由沉降速度,这个速度为携砂液临界速度,其计算公式为:

$$V_c = 2.73 \sqrt{d(p_s - p_y)/p_y}$$

式中: V_c —冲砂时携砂液临界速度, m/s; d —砂粒直径, mm; p_s —砂粒密度, kg/m^3 ; p_y —携砂液密度, kg/m^3 。

本井沉砂为外径0.425~0.825mm的球形陶粒砂,真密度为 3300 kg/m^3 ,携砂液为清水,密度为 1000 kg/m^3 。根据上式,可求出两种尺寸的连续管在Ø60.32mm油管内冲砂时的最小排量,分别见下表2和表3。

表2 1.5" (38.1mm) 连续管冲砂临界速度和临界排量

砂粒直径 mm	携砂液临界速度 m/s	管内临界排量 L/min	小环空临界排量 L/min	大环空临界排量 L/min
0.4	0.08	3.83	4.37	51.77
0.5	0.09	4.28	4.89	57.88
0.6	0.10	4.69	5.35	63.40
0.7	0.11	5.06	5.78	68.48
0.8	0.12	5.41	6.18	73.21
0.9	0.12	5.74	6.56	77.65
1	0.13	6.05	6.91	81.86

表3 1.25" (31.75mm) 连续管冲砂临界速度和临界排量

砂粒直径 mm	携砂液临界速度 m/s	管内临界排量 L/min	小环空临界排量 L/min	大环空临界排量 L/min
0.4	0.08	2.53	6.06	53.51
0.5	0.09	2.83	6.78	59.82
0.6	0.10	3.10	7.42	65.53
0.7	0.11	3.35	8.02	70.79
0.8	0.12	3.58	8.57	75.67
0.9	0.12	3.80	9.09	80.26
1.0	0.13	4.01	9.58	84.60

备注: 小环空指连续管与 $\phi 60.32\text{mm}$ 油管之间环空; 大环空指连续管与5%套管之间的环空。

从以上表2和表3可看出, 连续管外径越小, 为了增加环空携砂能力, 需要的冲砂排量越大。以100L/min的排量在 $\phi 60.32\text{mm}$ 油管内冲砂, 达到了临界冲砂排量的10倍以上, 因此, 两种规格连续管都可以满足油管内冲砂要求。而对于套管内冲砂, 由于临界排量高, 必须提高冲砂注入排量或者采取其它有效措施弥补排量的不足, 以保障冲砂效果。

(2) 压裂所使用陶粒砂为外径0.425-0.825mm的球形颗粒, 从表4可知1.25" (31.75mm) 和1.5" (38.1mm) 连续管与 $\phi 60.32\text{mm}$ 油管的环空间隙分别为18.91mm和12.56mm, 施工中可通过调整冲砂排量及下放速度, 控制冲砂时环空内携砂液的砂比在安全范围内, 防止砂堵。

表4 连续管在 $\phi 60.32\text{mm}$ 油管内的相关参数

连续管外径 mm	壁厚 mm	内径 mm	内容积 L/m	环空容积 L/m	与油管间隙 mm
38.1	3.4	31.3	0.77	0.88	12.56
31.75	3.18	25.4	0.51	1.22	18.91

(3) 相同排量下, 连续管内径越小摩阻越大。从表5可知, 1.25"连续管在150L/min排量下的井口泵压为36.4MPa, 1.5"连续管在150L/min排量下的井口泵压为31.02MPa, 泵压差为5MPa, 如果继续提高排量至200L/min, 1.25"连续管泵压差达到64.5MPa, 压差超过31MPa, 对于地面泵注设备要求很高。

4.3.3 套管内冲砂

进入套管后, 100L/min的冲砂排量偏小, 只有临界排量的1.17倍(见表2和表3), 因为排量过小(至少达到临界排量的2倍以上), 冲砂洗井时间长, 大颗粒砂不易冲出, 达不到较好冲砂效果, 在套管内冲砂时需要采取有效措施提高冲

砂效果。

针对冲砂进入套管后, 底部形成“大肚子”状态, 携砂液流速会降低, 以及地层压力低(本地区压力系数0.85)可能引起的携砂液漏失, 会导致冲砂排量达不到携砂要求, 因此适当提高携砂液粘度, 以提高其携砂和抗漏失能力。设计在清水中加入0.4%的瓜胶, 配置粘度为60m

4.3.4 套管环空内的砂堵处理

对于套管环空内的砂堵, 如果在冲砂过程中管柱产生的震动及水力冲击作用, 能使环空内沉砂脱落下降, 而后被携砂液带出井筒, 将达到理想冲砂效果。

4.4 施工总结

通过详尽的施工前准备、精密的施工难点分析以及有效的施工对策, 本次作业充分展示了连续管技术在井下复杂情况处理中的高效性、灵活性和安全性。本次施工中, 11.5"的连续管在应对 $\phi 60.32\text{mm}$ 油管内的沉砂堵塞方面展现了显著的优势, 通过精确计算的冲砂排量和调整的下放速度, 成功避免了进一步的砂卡风险, 同时, 通过使用瓜胶增粘的方法优化了套管内冲砂效果, 确保了冲砂作业的全面成功。

5 结束语

通过对连续管冲砂解堵技术的研究与应用分析, 可以看出该技术在解决油气井下复杂堵卡问题方面具有显著优势, 不仅能有效提高作业效率, 减少作业时间和成本, 还能最大程度地减轻对储层的损害。虽然在实际应用过程中存在一定的挑战, 如管柱内径的限制、高泵压和摩擦阻力等, 但通过科学合理的施工对策分析与实施, 这些难题均可得到有效解决。本文的研究不仅为油田井下作业提供了重要的技术参考, 也为连续管技术的进一步发展和优化提出了建议, 期望能够为油气田开发与维护贡献更多的力量。

[参考文献]

[1]郭宇, 吴大飞, 朱再思, 颜家福, 竺栩威, 杨勇, 康凯. 连续管防喷器检测装置的设计与应用[J]. 科学技术创新, 2024, (04): 25-28.

[2]柳庆仁, 张富强, 吕维平, 卢秀德, 郝军, 殷卓成, 康凯. 连续管技术与装备在深层页岩气开发中的浅析[J]. 世界石油工业, 2024, 31 (01): 61-69.

[3]赵签, 黄宏彬, 王一全, 张永学, 张金亚. 连续管反循环冲砂过程的磨损研究[J]. 石油机械, 2020, 48 (09): 107-113.

[4]高森, 杨红斌, 苏敏文. 连续管水平段套管内冲砂试验与效果评价[J]. 石油机械, 2019, 47 (05): 117-124.

[5]明瑞卿, 贺会群, 唐纯静, 胡强法. 国内外连续管软件研究分析[J]. 石油钻采工艺, 2017, 39 (06): 771-780+794.