

连续油管清理井筒施工在沙特阿拉伯的应用实例

陈先昊（中石化华北石油工程有限公司井下作业分公司，河南 郑州 450000）

摘要：文章借助沙特阿拉伯一口运用连续油管清理井筒施工的实例。从分析井筒内前期施工的情况开始，到初步拟定施工方案、选定施工井下工具组合，然后详细介绍了施工具体步骤，最终成功完成施工。一系列的讲解详细、清晰，最后提出了对该施工过程中一些问题的思考，为同类型施工提供了一定的参考。

关键词：连续油管；清理井筒；酸化解堵

为了充分利用资源，在沙特阿拉伯如何将前期废弃的井重新利用起来这一步，显得极为重要，尤其是自2020年起，因全球疫情肆虐造成出行减少，大量运输设备停运等对石油行业带来的冲击，导致油气需求急剧降低，通过废弃井的重新开发、改造，既可以降低钻井的成本，又可以提高油气产量。

本篇中提到的例井是一口开发于多年前的气井，因前期生产阶段产量不足，已经打水泥塞封井，目前该井被列为阿美改造的一口重点井要对其进行重新开发利用，但因停产多年，当前井筒内结垢、堵塞，使清理井筒问题复杂化，决定使用连续油管完成清理井筒的施工。

1 前期的施工情况介绍

1.1 井内情况介绍

本井为直井，套管外径为9-5/8"，井内有4-1/2"油管深度2670ft，套管内第一个水泥塞顶部在3220'，距离井内油管底部为550'。本井施工目的是：第一步将水泥塞上部井筒清理干净，置换为泥浆；第二步钻除全井水泥塞；第三步将井筒内射孔改造，使其重新生产利用。本文将详细就如何使用连续油管清理第一级水泥塞上部的井筒，置换重浆的施工过程进行探讨。

1.2 前期施工情况介绍

在搬迁上井后，钻井队首先使用95 PCF的抑制性水基泥浆从油管注入测试环空，套管无返出，未能建立循环。尝试通过憋压解除堵塞：第一步从油管打压1000 Psi，未建立循环；第二步从套管内打压500 Psi，未建立循环。

钢丝作业入井四趟。第一趟使用3.7"通径规通径，在油管内54'处遇阻；第二趟使用3.25"通径规通径，在油管内相同位置54'处遇阻，同时从井内带出一直井约2"的球状重晶石块；第三趟使用直径2.5"、长6'取样桶取样，取出大量坚硬的重晶石块；第四趟再次使用直径2.5"、长6'取样桶取样，取出大量坚硬的重晶石块。

1.3 分析

本井已注水泥塞封井多年，因前期注水泥后未及时清洗上部井筒或其他原因，使水泥塞上部井筒内重晶石泥浆沉淀、堆积，在油管内部和油套环空都形成重晶石桥堵塞，水泥塞上部可能也被重晶石沉淀覆盖，水泥塞

顶部位置或已发生改变。

相比于其他类型施工，使用连续油管除垢、除堵塞物作业的优势在于无需起出现有管柱，实施连续循环，改善了井控条件^[1]，并且大大降低了施工规模。鉴于此，本井可考虑使用连续油管带底部平底磨鞋、或小水眼的高压旋转喷射工具入井清除重晶石堵塞。

两者相比，磨鞋的优势在于钻开堵塞物更加高效，但第一因为螺杆马达工具较长不利于在4-1/2"油管内运动且需要安装更长的防喷管增加了连续油管设备安装的复杂性；第二因为磨鞋底部水眼过大且水眼方向朝下，对油管内壁的冲击力不够，在钻开堵塞物质后不足以将油管内壁残余的重晶石结晶冲刷下来，起不到彻底清洁的作用；第三相比于高压旋转喷射工具螺杆马达外壁和油管内壁的缝隙太小，阻碍了大颗粒物质的返出。

综上所述，本井最终决定采用高压旋转喷射工具，该工具除了避免上述不利因素以外，还具有端部能在水力作用下发生旋转的特点，可以起到360°全方位冲刷井筒内壁的作用。

2 施工的工具组合

2.1 工具组合

本井出于：①冲刷清洁井筒；②酸浸清理井筒，两个阶段施工的考虑设计了两套井下工具组合：

表1 冲刷清洁井筒阶段工具组合

工具名称	外径 (in)	长度 (ft)	内径 (in)	水眼数量 (个)	水眼尺寸 (in)
外铆钉式连接器	2.88	0.54	1.38	-	-
单流阀	2.88	1.41	1.00	-	-
液压丢手	2.88	1.74	0.53	-	-
双作用循环阀	2.88	1.58	0.563	-	-
高压旋转喷射工具	2.88	1.30	-	5	0.125

表2 酸浸清理井筒阶段工具组合

工具名称	外径 (in)	长度 (ft)	内径 (in)	水眼数量 (个)	水眼尺寸 (in)
外铆钉式连接器	2.88	0.54	1.38	-	-

单流阀	2.88	1.41	1.00	-	-
液压丢手	2.88	1.74	0.53	-	-
双作用循环阀	2.88	1.58	0.563	-	-
普通喷嘴	2.88	0.54	-	5	0.5

2.2 工具组合分析

2.2.1 冲刷清洁并筒阶段工具组合

高压旋转喷射工具底部有 5 个并排在同一直线上的喷嘴，每一个喷嘴的水眼尺寸为 0.125"。该工具在使用标准喷嘴（0.125"）的情况下，允许泵注的排量是 1-3 BPM（42-126 GPM），允许作业压力是 1000-5000 PSI。并排的 5 个喷嘴一个位于工具底部，距离旋转中心轴线向一侧偏移 15°；其中两个位于两侧，距离旋转中心轴线向两侧偏移 45°；另外两个位于两侧，与旋转中心轴线形成 90° 夹角。

本井实际施工过程中出于特殊因素考虑，在 2920ft 以上井段（距离油管末端 250ft，距离水泥塞顶部 300ft）施工过程中未将高压旋转喷射工具更换为普通喷嘴，现根据实际施工的数据对高压旋转喷射工具上产生的排量、压力、扭矩等参数做出模拟，结果如下：

表 3 高压旋转喷射工具施工参数模拟表

施工阶段	油管内 解堵	油管内 循环	油管内 泵酸	套管内 循环	套管内 泵酸
油管下深 (ft)	2257	2670	2670	2950	2920
泵注排量 (bpm)	1.2	1.4	1.5	2.2	2.2
泵注压力 (psi)	2600	2800	2700	3800	3600
泵注介质	63 PCF 胶液	63 PCF 胶液	酸液	高粘度 胶液	酸液
喷嘴处实际 排量 (bpm)	1.01	1.05	1.03	1.89	2.1
喷射压力 (psi)	1511	1628	1571	2527	2393
扭矩范围 (in-lb)	14-27.9	12.8-26.1	11.3-24.0	10.2-22.4	10.2-22.4

从上表可见，使用高压旋转喷射工具在油管内解堵阶段喷嘴处的喷射压力为 1511psi，在该喷射压力下施工时，对于重晶石桥堵塞是可以逐步喷射破坏的。

解堵成功后，在油管内循环冲刷管壁阶段的最小喷射压力为 1628psi，也足以冲刷掉管壁上附着的重晶石。通过该模拟验证了使用该工具的有效性。

2.2.2 酸浸清理并筒阶段工具组合

该阶段的目的是通过连续油管定点向井内泵注柠檬酸，酸浸并筒，溶解、松动井壁上的固体物质，同时配合油管和套管打备压，破坏油套环空中的堵塞物质，建立油套环空的循环。酸浸之后再通过泵注高粘度的胶液

将井内溶解的固体颗粒携带出井。

因该阶段的主要目的不在于冲刷井壁，而在于酸浸和携带，显然小水眼的高压旋转喷射工具已经不适用。应改用大水眼的常规喷嘴，其优势在于一方面为高粘度的胶液提供更大的过流面积；另一方面在喷嘴处提供更大的排量，增强固体颗粒的悬浮效果。

3 实际施工步骤详解

本井施工可以按照作业深度和操作的的不同大致分为三个井段、九个步骤，施工详细步骤见下表：

表 4 施工步骤明细表

井深 (ft)	步骤	泵注介质	连续油管位置	备注
2257	解堵	63 PCF 胶液	油管内	
2670	循环	高粘度胶液	油管内	
2670	酸浸	酸液	油管内	
2920	循环	高粘度胶液	套管内	
2920	酸浸	酸液	套管内	
3070	循环	高粘度胶液	套管内	
3070	酸浸	酸液	套管内	解堵成功
3070	循环	63 PCF 胶液	套管内	
3070	循环	95 PCF 水基泥浆	套管内	

3.1 0-2670 ft 井段

3.1.1 解堵

连续油管在井口处以 0.7 BPM 的排量开泵循环，以 10ft/min 的速度缓慢下放连续油管，到达 54 ft 处无遇阻显示，连续油管到达 2000 ft 处提高排量至 1.2 BPM，继续下放至 2257 ft 处遇阻，反复上提下放连续油管冲洗遇阻点，直至 2300 ft 处通过。

3.1.2 循环

通过遇阻位置后，提高排量至 1.4 BPM，持续下放连续油管冲刷油管壁至油管末端（2670 ft）处泵注高粘度胶液，用高粘度胶液循环 2 周，从而携带冲刷下的固体物质出井。

3.1.3 酸浸

在 2670ft 处提高排量至 1.5 BPM 泵注酸液 50 BBLS，上提连续油管至 300 ft 处停泵，静置酸浸 2h。

3.2 0-2920 ft 井段

3.2.1 循环

以 1.5BPM 排量开泵下放连续油管，到达 2670ft 时提高排量至 2.2BPM，持续下放油管至 2920ft 处以 2.2BPM 的排量泵注高粘度胶液 10BBLS，用 63PCF 胶液循环 3 周。结束后上提连续油管至 2670ft，（下转第 160 页）

引进现代化的管理理念,全面提升企业员工的思想道德水平。最后,为员工创造良好的学习条件,可以通过构建绩效考核体系,将员工的专业水平和绩效相挂钩,充分激发其学习积极性,从而熟练掌握岗位技能。化工企业生产和调度的工作是一项贯穿于煤化工生产始终的一项工作,对于工作人员自身的素质有着较高的要求,不仅需要在专业工作技能上有着较高的水平,还需要在沟通、组织、协调方面具有较好工作能力,可以在调度指挥的过程中发挥良好的作用。另外,调度生产部门的工作人员的团队精神和合作的能力也是十分重要的,没有良好的道德品质和工作素质的工作人员无法在高质量的工作中进行作用的发挥,整体生产调度部门的工作也会受到影响。

5.6 完善生产经营调度管理系统

现如今是信息化时代,各个行业与企业的发展都离不开信息技术的支持。因此,生产经营调度管理工作也应当要借助信息技术的便捷性和与高效性特点,实现生产经营调度管理的信息化发展。MES系统的应用安全可靠,是生产经营调度管理的重要载体,其功能十分完善,涵盖了计划排产、生产经营调度、库存、质量、人资、设备、采购、成本等多个模块,能够有效提升整个生产过程中的管理效果。对于其中的生产经营调度管理模块,是实现生产经营调度高效化、信息化管理的重要途径,该模块的功能包括生产过程实时监控、生产经营

调度、生产统计、质量管理等多个方面。其中,生产过程实时监控功能可以方便各级管理人员对生产线的生产情况进行远程监控,并对各项数据进行统计;生产经营调度指挥模块可以根据生产计划来对各个资源进行合理分配,对生产现场进行有效的指挥,促进生产的稳定进行;生产统计模块可以自动收集生产过程中产生的数据,并进行统计分析,为管理者提供实时生产数据,为决策提供依据。

6 结束语

在化工企业的生产经营活动中,往往需要用到大量的化学原材料,除了原材料较为危险外,同时生产环境以及生产工艺较为复杂,容易发生安全生产事故,因此化工企业在开展生产经营活动的过程中,加强调度管理,对于企业未来发展具有重要的意义。

参考文献:

- [1] 邱应杰.化工企业生产经营调度管理职能探讨[J].化工管理,2020(10):15-17.
- [2] 杨俊伟,雷鹏.化工生产经营调度管理的重要性与优化探究[J].化工管理,2020(08):19-20.
- [3] 刘惊涛,刘玉伟.化工生产经营调度管理的重要性与优化研究[J].科技经济导刊,2019,27(18):216.
- [4] 王振鹏.化工企业的调度管理工作浅析[J].化工管理,2018(01):26.

(上接第157页)静置沉淀1h后再次下放连续油管至2920ft泵注高粘度胶液10BBLS,用63PCF胶液循环3周,将酸浸后脱落的固体颗粒携带出井。

3.2.2 酸浸

在2920ft处泵注50BBLS酸液,上提连续油管至地面,酸浸2h。期间从油管内憋压1500PSI,并且反复多次增加200PSI额外压力,泄压200PSI以此循环;从套管内憋压500PSI,并且反复多次增加100PSI额外压力,泄压100PSI以此循环。尝试破坏油套环空内的堵塞,建立循环未成功。

3.3 0-3070 ft 井段

更换小水眼高压旋转喷射工具为大水眼普通喷嘴。

3.3.1 循环

以1.4BPM排量下放连续油管至2670ft,提升排量至2.2BPM,继续下放至3070ft处遇阻,复探三次未通过,确认为实际水泥塞顶部位置,泵注10BBLS高粘度胶液,循环3周,再次清理井筒。

3.3.2 酸浸

泵注70BBLS酸液,上提连续油管至地面,酸浸2h。期间以500PSI、1000PSI、1500PSI、2000PSI、2500PSI逐级增加压力从油管内憋压,到达2500PSI时从套管返排处观察到液体,解堵成功。

3.3.3 循环

下放连续油管至3070ft,泵注63PCF的胶液循环3周,彻底清理井筒。

3.3.4 循环

通过连续油管泵注,将井内介质置换为95 PCF的水基泥浆。

4 思考

4.1 高压旋转喷射工具使用的合理性

在不需要对管壁进行冲刷的阶段,尤其是在泵注高粘度胶液时,没有及时更换大尺寸的喷嘴实际是不合理的。一方面降低了胶液在水眼处的过流面积,影响流量,从而降低了对固体悬浮物质的携带效果;另一方面对高压喷射工具的喷嘴造成磨损,影响后续使用效果。

4.2 柠檬酸与重晶石的反应

重晶石中的主要成分是 BaSO_4 ,非酸溶性堵塞物,所以在酸浸过程中实则与柠檬酸发生反应的物质不是重晶石,其主要目的在于溶解井壁和油套环空堵塞物中的其他物质是堵塞物质薄弱,同时配合压力破坏堵塞物质的结构重新建立循环。

参考文献:

- [1] 赵章明.连续油管工程技术手册[M].北京:石油工业出版社,2011:387.