

利用连续油管水平井切割技术应对水平井修井作业中无法提活问题研究

李新, 李善鑫, 刘彦旭, 陈辅金

中海油田服务股份有限公司, 油田技术事业部塘沽作业公司, 天津 塘沽 300450

摘要 : 本研究旨在探讨利用连续油管水平井切割技术应对水平井修井作业中无法提活的问题。首先, 通过文献综述和案例分析, 分析了水平井修井作业中无法提活的原因和现状。其次, 介绍了连续油管平井切割技术的原理和优势, 以及在水平井修井作业中的应用前景。随后, 通过实验和模拟分析, 验证了该技术在解决水平井修井作业中无法提活问题上的有效性和可行性。最后, 总结了利用连续水平井切割技术的优势和局限性, 并提出了未来研究的方向和建议。本研究为水平井修井作业中无法提活问题的解决提供了新的思路和方法, 具有一定的理论和实际意义。

关键词 : 连续油管水平井; 切割技术; 水平井修井作业; 无法提活问题

Study on Using Continuous Tubing Horizontal Well Cutting Technology to Cope with the Problem of Unable to Raise Items in Horizontal Well Workover Operations

Li Xin, Li Shanxin, Liu Yanxu, Chen Fujin

Tanggu Operation Company, Oilfield Technology Division, China Oilfield Services Limited, Tianjin, Tanggu 300450

Abstract : The purpose of this study is to discuss the application of coiled tubing horizontal well cutting technology to solve the problem of unable to raise items in horizontal well workover. Firstly, through literature review and case analysis, this paper analyzes the reasons and current situation of unable to raise items in horizontal well workover operation. Secondly, the principle and advantages of continuous tubing horizontal well cutting technology and its application prospect in horizontal well workover are introduced. Subsequently, the effectiveness and feasibility of this technology in solving the problem of inability to raise items in horizontal well workover are verified through experiments and simulation analysis. Finally, the advantages and limitations of utilizing continuous horizontal well cutting technology are summarized, and directions and suggestions for future research are presented. This study provides new ideas and methods for solving the problem of inability to raise items in horizontal well workover, which has certain theoretical and practical significance.

Key words : continuous tubing horizontal wells; cutting technology; horizontal well workover operations; inability to lift live problems

引言

水平井在油气田开发中起着重要作用, 然而, 在水平井修复作业中, 由于地质条件和井筒结构等因素, 往往存在无法激活的问题, 给作业带来了诸多困难。为了解决这一问题, 近年来, 连续油管水平井切割技术逐渐受到关注。该技术通过特殊的切割工具和工艺, 能够在水平井修井作业中实现连续油管切割, 从而有效地解决了无法提活的难题。本文旨在对利用连续油管水平井切割技术应对水平井修井作业中无法提活问题进行深入研究, 为解决实际生产中的难题提供理论支持和技术指导。

一、水平井修井作业中存在的无法提活问题

在进行修井作业时, 由于地层条件、井筒结构或其他因素的影响, 导致井下工具或设备无法正常提升到地面的情况。由此会导致作

业进度延误、设备损坏甚至安全事故的发生。无法提活的问题可能由于井下工具卡住、管柱卡阻、井眼塌陷等多种原因引起, 给水平井修井作业带来了诸多困难和挑战。因此, 解决水平井修井作业中的无法提活问题对于提高作业效率、保障安全方面有着较大的作用。

二、可行性分析

利用连续油管水平井切割技术应对水平井修井作业中无法提活问题具有一定的可行性。当前常用的油管尺寸参数见下表1所示，大部分内径满足切割要求。

表1 常用油管尺寸参数

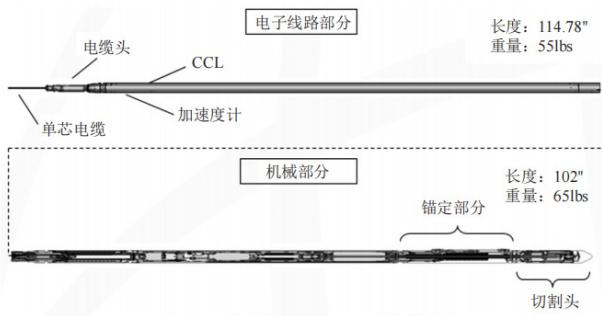
Pipe Size	Pipe OD		Pipe ID		Pipe Weith	
(in.)	(in.)	(mm)	(in.)	(mm)	(lb/ft)	(kg/m)
3/4	1.05	26.7	0.824	20.9	1.2	1.79
1	1.315	33.4	0.957	24.3	2.25	3.35
1 1/4	1.25	31.8	0.909	23.1	1.08	1.61
1/2	1.9	48.3	1.5	38.1	3.64	5.43
2	2	50.8	1.67	42.4	3.4	5.07
3.5	3.5	88.9	2.602	66.1	15.5	23.11
4.25	4.25	108	3.73	94.7	11.08	16.52

连续油管水平井切割技术能够在水平井井筒中实现连续油管切割，有望解决井下工具卡住、管柱卡阻等问题，从而提高作业的顺利进行。该技术在实际应用中已经取得了一定的成功案例，证明了其在解决无法提活问题上的潜力和可行性。随着连续油管水平井切割技术的工艺和设备不断得到改进和完善，能够更好地适应不同地质条件和作业环境，提高了技术的可靠性和稳定性。因此，综合考虑技术原理、实际应用和设备改进等因素，利用连续油管水平井切割技术应对水平井修井作业中无法提活问题具有一定的可行性。

三、配套设备及工具

(一) SEPC 电缆机械切割

SEPC 电缆机械切割是用于切割电缆的机械设备。这种设备通常采用特殊的刀具或切割机构，能够对电缆进行精确的切割，以满足不同长度和规格要求。SEPC 电缆机械切割通常用于电力行业、通信行业以及其他需要对电缆进行定制长度切割的领域。这种设备能够提高切割效率，保证切割质量，并且能够适应不同类型和直径的电缆。在使用 SEPC 电缆机械切割时，需要注意安全操作，以及对设备进行定期维护和保养，以确保其正常运行和切割效果。机械切割工具如图1所示。其性能参数如表2所示。



>图1 SEPC 电缆机械切割工具结构图

表2 SEPC 常用规格的技术参数

工具长度	18.16 ft (5.54 m)	两个部分	8.33 ft (2.54 m) 和 9.83 ft (3 m)
数量	170 lbs (77.2 kg)	工具直径	3-1/4" (82.5 m)
耐温	392° F (200 °C)	耐压	20 000 psi (137.9 MPa)
最大切割管材壁厚			0.5" (12.7 mm) 用 50 刀片 mm
最大切割管材壁厚			0.68" (17.27 mm) 用 60 刀片 mm
最大切割管材壁厚			0.75" (19.05 mm) 用 63 刀片 mm
63 mm 刀片切割范围	4" (101.6 mm) 到 7" (178 mm) 的管材	50 mm 刀片切割范围	2-7/8" (73 mm) 到 4" (102 mm) 的管材

SEPC 电缆机械切割技术的优势在于其操作简便、安全高效。通过电缆下入机械切割工具，可以实现对金属管材的精确切割，无需使用爆破等危险品，降低了作业风险。此外，该技术适用于各种常规和特殊结构的金属管材，具有较强的通用性和适用性。在渤海油田等地的应用表明，SEPC 电缆机械切割技术在油田开发中具有重要的实用价值，为油田作业提供了可靠的技术支持。随着技术的不断改进和完善，SEPC 电缆机械切割技术有望在更多领域得到推广和应用。

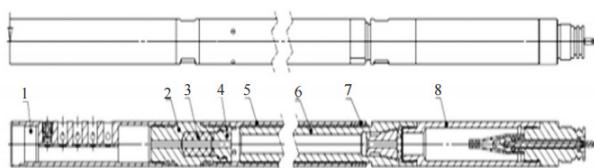
(二) 连续油管穿电缆设备

连续输送内穿电缆系统是一种利用水力车向连续输送内泵入流体的技术。这种系统利用雷诺方程来控制管内流体的流速，一旦流速达到一定程度，就会形成紊流，这样，由于流体在缆索上所受的轴向力，可以使缆索在管道中悬停。其次，该系统的供缆机构能够将线缆均匀地推入到连续传输中，并且在高速流过悬缆线的过程中，所产生的径向摩擦也将为线缆的持续运转提供帮助。所以，通过这种系统就可以从地面成功地把光缆穿入盘在输送带上的连续输送中，从而实现了光缆的高速、稳定地运行，给工程施工者带来了方便。这项技术的运用能够极大地提高光缆铺设的效率和质量，为工程和维修工作提供了重要的技术支持。

在水平井测试中，使用连续输送过程，测试仪器必须在要求的测试间隔内工作。通过将连续传输连接到电缆，使用泄油短节可以解决技术上的困难。泄油短节由单向短节和电缆密封头两部分组成，详细的技术性能参数可以参见表2。这种技术的关键在于确保连接的可靠性和密封性，以确保测试仪器能够顺利进入井段并进行有效的测试。

表2 泄油短节技术性能参数

最大直径	43 mm	导通电阻	< 0.5 Ω
耐温	200 °C	绝缘电阻	20 mΩ
耐压	100 MPa	上部扣型	1.25AMMT BOX



1: 泄压套筒；2：密封接头；3：密封填料；4：填料压帽；5：连接接头；6：连接套筒；7：连接接头；8：下接筒等零件组成

>图2 泄油短节仪器结构

泄油短节的设计和制造需要考虑多个因素，包括材料的选择、密封性能、耐压能力等。在实际应用中，泄油短节需要能够承受高压环境下的工作，并且保证连接的可靠性，以防止泄漏和其他意外情况的发生。此外，泄油短节的安装和维护也需要严格按照规定的操作流程进行，以确保其性能和可靠性。

通过使用泄油短节，可以有效解决连续输送与电缆连接的难题，保证测试仪器能够顺利下入所需的测试井段，并且在测试过程中能够稳定可靠地工作。这种技术的应用为水平井测试提供了重要的技术支持，有助于提高测试的效率和准确性。

单向筛管在连续点胶系统中起着重要作用，它防止井液进入连续点胶系统，允许连续点胶通过表面压力进入套管。在工作过程中，当压力增大到某一数值时，就会将宽心的压簧推向，从而将管内的流体继续输送到套管中；当不进行地面下压时，弹簧将复位，使槽道封闭，使井中的流体无法继续向下输送。这种设计能够有效地控制液体的流动方向，保证连续输送系统的正常运行和安全性。另外，电缆密封头在连续输送系统中也起着关键作用，它能够固定和密封连续输送内的电缆，同时也能够与下井仪器进行配接，确保整个系统的稳定性和密封性。电缆密封头的设计需要考虑到电缆的尺寸、材质和工作环境等因素，以确保其能够有效地固定和密封电缆，并且能够承受地下环境的压力和振动。这些关键部件的设计和工作原理保证了连续输送系统的正常运行和安全性，为地下工程施工和测试提供了可靠的技术支持。通过合理的设计和严格的制造工艺，这些关键部件能够在复杂的地下环境中稳定可靠地工作，为工程施工和测试提供了重要的保障。

四、切割工艺流程

针对无法解封提活的水平井，根据井况进行切割，原则为优先选择回接生产。首先下入连续输送对井进行通井，确认通道畅通。工具串组合包括 $\phi 38\text{mm}$ 连续输送、 $\phi 43\text{ mm}$ 油短节、 $\phi 38\text{ mm}$ 脱手短节、 $\phi 38\text{ mm}$ 柔性短节、 $\phi 54\text{CCL}$ 和 $\phi 54\text{ mm}$ 通井规。

接着下入连续输送穿芯电缆机械切割工具串和电缆机械切割工具串组合，其中包括 $\phi 38\text{ mm}$ 连续输送、 $\phi 43\text{ mm}$ 油短节、 $\phi 38\text{ mm}$ 脱手短节、 $\phi 38\text{ mm}$ 柔性短节、 $\phi 54\text{mm}$ 电子线路和 $\phi 54\text{ mm}$ 切割工具。在设计位置进行电缆机械切割（避开管柱节箍位置），切割过程中观察电流、进刀参数显示数据是否正常，取出工具串，检查刀片是否有磨损，判断切割效果。

对可回灌的油井，采用下入回接器进行回灌开采，对较复杂的油井，按后续处理方案进行。这些步骤和工具的使用旨在解决

无法解封提活的水平井问题，并确保井下作业的顺利进行。在实际操作中，针对不同的井况和问题，需要根据具体情况选择合适的工具和方案。同时，对工具的使用和切割过程中的数据监测需要严格把控，以确保作业的安全和效率。这些步骤和工具的使用为解决水平井问题提供了一套系统化的操作流程，有助于提高作业的成功率和安全性。

五、现场实际应用

XXX 井是一口高含气水平井，其管柱图如图4所示。该井位于某海域的钻机平台，于2012年9月18日投产，最大井斜度为 90.2° 。然而，在2023年1月进行检泵作业时，管柱遇卡，无法提出。由于后续常规处理时间较长，平台没有合适的作业窗口等问题，该井被迫关井停产。在故障前，该井的产液量为 $342\text{ m}^3/\text{d}$ ，产油量为 $298\text{ m}^3/\text{d}$ ，含水率为90%，日产气为 $1.9 \times 10^6\text{ m}^3/\text{d}$ ，气油比为 $655\text{ m}^3/\text{m}^3$ 。针对这一情况，钻机平台部门积极研究并制定解决方案，以尽快恢复该井的正常生产。同时，平台也在加强对类似问题的预防和处理能力，以提高井下作业的安全性和效率。

针对 A46h 井下管柱不能上举的情况，采用常规措施难以解决。首先，由于这口井是一口大斜度的水平井，其水平段长度很大，经过计算和分析，遇卡点是位于上部封隔器的部位，这个部位的防斜电缆不能下到规定的深度。

考虑到井内 A46h 线无法提升的状态，传统的处理方法是很困难的。首先，这口井是非常倾斜的水平井，水平断面非常长。计算和分析的结果显示，剪切点位于封口的顶部，剪切工具无法在管道倾斜的电缆中流动到规定的深度。

传统的加工方法只能进行分段切割和打捞。首先使用电缆切割工具将线路切割到最大允许深度，然后钻头将剩余线路分段回收。由于输油管生产线设有电缆、输油管和控制电缆的屏蔽装置，很容易将该井内的输油管和电缆的屏蔽推翻，这增加了复杂性，使井的状态和渔业也还有其他的困难。

通过对井况的全面分析，采用 SEPC 机械切割工具的切割和提升方案。首先，确定切割深度点：卡点的水深测量方法为，吊 2770 米，液压电控滑动关节 2 710.4 水深大于 6 镰" 的位置为 2305 米。按照尽量多切少底的原则，切点选择油压滑盖的第 6 个外壳中间，即 2265 米。SEPC 工具的尺寸根据绳索的深度和直径来选择：SEPC 工具的最大外径为 55mm，刀片为 50mm，可用于切割 3-1/2" EU 箱"。

1.75" 的连续传输芯的数值模拟，实现了满足工作深度的抗拉强度。通过 CL 校准操作，最终确定切割深度 2260 米，切割电流稳定，螺钉从管道上卸下后平滑的切割面。

利用 SEPC 机械切割的洛克赫特驱动器进行切割，将堵塞的绳索一次切断并顺利地拉出，再由 tieback 直接恢复生产。整个加工过程只需要 1.5 天，大大缩短了工作时间。该系统的成功应用将为类似井的情况提供有用的经验和借鉴。

六、未来发展趋势

随着油气田开发技术的不断进步和水平井修井作业的需求增加,利用连续油管水平井切割技术应对水平井修井作业中无法提活问题具有广阔的发展前景。连续油管水平井切割技术将会不断进行改进与创新。这包括提高切割效率、降低成本、增加适用范围等方面的技术创新,以满足更多复杂井下环境的需求。未来的发展趋势将是实现连续油管水平井切割技术的自动化与智能化。通过引入先进的传感器、控制系统和人工智能技术,实现对切割过程的实时监测与控制,提高作业的精准度和安全性。未来的发展将更加注重环保与安全。在技术应用过程中,将会更加注重减少对环境的影响,降低作业过程中的安全风险,确保作业的可持续性发展。连续油管水平井切割技术将会在更多领域得到应用,包括石油、天然气、地热等领域的井下作业,以及其他需要切割技术的工业领域。总的来说,未来连续油管水平井切割技术将会在技术创新、智能化、环保与安全以及应用领域拓展等方面取得

更多进展,为水平井修井作业提供更加可靠、高效的解决方案。

七、总结

连续油管水平井切割技术具有一定的可行性,能够有效解决水平井修井作业中的无法提活问题。该技术能够在水平井井筒中实现连续油管切割,有望解决井下工具卡住、管柱卡阻等问题,提高作业的顺利进行。该技术在实际应用中取得了一定的成功案例,证明了其在解决无法提活问题上的潜力和可行性。工艺和设备不断得到改进和完善,能够更好地适应不同地质条件和作业环境,提高了技术的可靠性和稳定性。然而,仍需要进一步的实验验证和工程应用来全面评估其可行性和效果。同时,需要注意技术的操作规范和安全性,以确保在实际作业中取得良好的效果。利用连续油管水平井切割技术应对水平井修井作业中无法提活问题具有一定的前景和应用潜力,为解决实际生产中的难题提供了新的思路和技术支持。

参考文献:

- [1] 徐昆,孙成,吴广昊.连续油管钻磨可溶桥塞技术在南川页岩气田水平井中的研究应用 [J].石油石化物资采购,2023(10):91–93.
- [2] 李飚.带压作业技术在气井修井作业中的应用研究 [J].中国设备工程,2023(18):230–232.
- [3] 顾国利.连续油管作业技术在超深井中的应用 [J].2022(1).
- [4] 任志平.水平井连续油管钻磨复合桥塞施工参数优化 [D].重庆科技学院,2019.
- [5] 杨子,刘国振,张帅,等.渤海油田大斜度井大修作业中测井技术作业实践与研究 [J].石油和化工设备,2019,22(8):5.DOI:CNKI:SUN:HSFF.0.2019-08-020.
- [6] 马驰.车载修井机技术改进措施 [J].中国设备工程,2021.
- [7] 闫建文.可控不压井作业工艺技术研究 [J].中国化工贸易,2019,011(008):87.DOI:10.3969/j.issn.1674-5167.2019.08.081.
- [8] 韩斌.提高井下修井作业施工中质量管理的对策研究 [J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(6):15–17.
- [9] 杨玉龙,毛恒博,焦少举,等.油水井修井作业工艺技术研究 [J].石化技术,2023,30(4):95–97.
- [10] 李东燊.井下作业修井技术现状及新工艺优化策略 [J].化学工程与装备,2023(1):3.
- [11] 许坤.井下作业修井机安全管理情况现状分析 [J].化工安全与环境,2023,36(4):24–25.
- [12] 赵炜,刘新全,纪常杰.复杂水平井同心连续油管真空清砂与清除地层污染 [J].石油石化节能,2001,017(001):27–29.
- [13] 田军,王国锋,吴简,等.水平井油管钻磨桥塞过程中问题分析及对策探讨 [J].石油技师,2020(002):000.