

连续油管在水平井段作业中的优化设计与应用研究

刘骏

辽河油田辽河工程技术分公司

【摘要】本文旨在探索连续油管在水平井段作业中的优化设计与应用,随着水平井段的作业范围不断扩大,连续油管的设计与应用面临着越来越多的挑战,本文就此从材质选择与结构设计、连接方式与工具匹配设计等两个方面提出了连续油管在水平井段作业中的优化设计,并分析了优化设计在修井作业、清洗井眼作业、磨铣作业、酸化和压裂作业以及工具接口与匹配性等方面的具体应用。通过实验分析了具体应用的效果,结果表明优化设计在修井、磨铣、酸化和压裂作业中的整体效率提升明显,平均作业时间缩短了约22.1%,同时,连续油管的使用寿命得到有效延长,缩减了设备的更换频率和停工维护时间,提高了作业的连续性和安全性。

【关键词】连续油管;水平井段作业;优化设计

Study on optimal design and application of coiled pipeline in horizontal well section

Liu Jun

Liaohu Oilfield, Liaohu Engineering and Technology Branch Company

【Abstract】This paper aims to explore the optimization design and application of coiled tubing in horizontal well operation. With the expansion of horizontal well operation scope, the design and application of coiled tubing face more and more challenges. This paper presents the optimization design of material selection and structure design, connection mode and tool matching design, and analyzes the optimization design in workover operation, cleaning hole drilling, milling, acidification and fracturing, and tool interface and matching. Through analyzed the effect of specific application, the results show that the optimization design in the overall efficiency of workover, milling, acidification and fracturing, the average operation time shortened about 22.1%, at the same time, the service life of continuous tubing is effectively extended, reduce the equipment replacement frequency and shutdown maintenance time, improve the continuity and safety of the operation.

【Key words】continuous tubing; horizontal well section operation; optimization design

引言

在全球能源需求持续增长的背景下,油气资源的开发难度日益增大,传统垂直井段的可采储量逐步减少,迫使油气勘探与开发逐渐向更加复杂的水平井段转移。水平井由于其能够大面积接触油气储层,从而显著提高单井产量,因此在当今的油气开采中发挥着至关重要的作用。然而,水平井段的作业环境相较于传统井段更为复杂,井眼轨迹具有高度的曲折性和多变性,这对钻井与修井作业提出了更高的技术要求^[1]。在此背景下,连续油管技术因其独特的优势逐渐成为水平井段作业的核心技术手段之一。连续油管的主要优势在于其柔性较好,可以顺利通过水平井段的弯曲段,并且具有较高的作业效率和安全性^[2]。然而,随着水平井段的作业范围不断扩大,连续油管的设计与应用面临着越来越多的挑

战。例如,井眼的复杂性要求连续油管具有更高的强度和耐磨性,同时在长距离作业中,油管的抗疲劳性能也至关重要。此外,为了应对多变的井下工况,连续油管的连接方式与作业工具的匹配性也需要进一步优化。如何在保证连续油管柔性的同时,提高其强度与耐久性,成为水平井段作业中亟待解决的技术难题。

1 连续油管在水平井段作业中的优化设计

1.1 材质选择与结构设计

在水平井段作业中,由于井下工况复杂多变且井眼轨迹极为多样,连续油管的材质和结构设计面临着严峻的挑战。为了确保连续油管能够在高应力和高疲劳环境中稳定工作,并同时具备足够的柔性以顺利通过复杂的井眼弯曲段,材质

的选择成为优化设计中的首要任务^[3]。通常情况下,高强度低合金钢在高应力条件下可以表现出出色的机械性能,因此也容易成为连续油管的首选材料。这种材料在经过精确的热处理工艺后,展现出更高的韧性和耐磨性,使其在复杂井下环境中能够有效抵御磨损和疲劳,延长油管的使用寿命。当然,材质的优化不仅限于强度的提升,还需要确保在严苛的井下环境中保持足够的柔韧性,才能更好的适应水平井段的各种井眼形态。

在结构设计方面,连续油管的直径和壁厚的优化是关键。这些参数需要根据井眼轨迹和作业需求进行精确计算与调配。具体而言,当油管的直径若设计过小时,就容易导致其在高压作业环境中无法承受必要的内压,从而引发油管破裂或失效的风险。而若直径过大,则会增加油管的刚性,影响其在弯曲井眼中的通过性。因此,通过对材料的力学性能与井眼轨迹的综合分析,可以确定油管的最佳直径与壁厚比例,确保在不同工况下的强度与柔性达到理想平衡。

1.2 连接方式与工具匹配设计

在水平井段作业中,作业的多样性和频繁的起下操作会对连续油管的连接方式提出更高的要求。传统的连接方式往往存在操作繁琐、连接时间长以及可靠性不足的问题,而在水平井段复杂的井下环境中,任何连接故障都可能导致严重的作业中断,甚至影响整体作业的成功率。因此,快速、可靠的连接方式成为连续油管优化设计中的重要环节。目前,旋转接头和快速接头技术在连续油管的应用中已经取得了显著成效。这些技术通过减少接头处的应力集中以及降低连接时间,显著提升了作业效率和安全性。旋转接头可以在井下作业过程中有效减少扭转力对油管的损害,从而延长油管的使用寿命;而快速接头则通过简化连接操作,减少了作业时间,尤其在需要频繁起下操作的水平井段作业中,能够显著降低作业风险和成本。

然而,连接方式的优化设计不仅仅局限于机械结构的改进,还包括与作业工具的匹配性设计。水平井段作业中,通常需要使用打捞工具、磨铣工具、测井工具等多种专用设备,因此,连续油管的设计必须确保与这些工具的良好匹配。通过精确设计专用工具接口,确保油管与各种工具之间的无缝衔接,不仅能够提高整体作业的效率,还能有效降低因工具不匹配引发的井下事故风险。此外,针对长距离水平井段作业的需求,连续油管的抗磨损设计同样不可忽视。由于水平井段作业常常伴随着长时间的磨铣和清洗作业,油管外表面极易受到井壁和工具的摩擦磨损。因此,在油管外表面涂覆耐磨涂层也是优化设计的一项重要内容。这种涂层能

够在极端环境下保持油管的完整性,有效延长其使用寿命,减少更换频率,进而降低整体作业成本。

2 连续油管在水平井段作业中优化设计的具体应用

2.1 修井作业中的应用

在修井作业中,井眼轨迹的复杂性对连续油管的柔性提出了极高的要求。优化设计的连续油管,依托其在材质选择和结构设计上的优势,能够有效应对井下高应力和多变井眼轨迹所带来的挑战。连续油管的柔性使其能够顺利通过井眼的弯曲段,减少了卡管的风险。此外,油管的抗疲劳性能经过优化,可以在长时间的修井作业中保持稳定,显著延长作业周期,减少了频繁起下管作业的次数和相关的安全隐患。

2.2 清洗井眼作业中的应用

在井眼清洗作业中,优化设计的连续油管通过与高效磨铣工具接口的良好匹配,具备了出色的作业能力。磨铣工具通过与连续油管的高效连接,能够迅速清除井眼中的泥砂、岩屑等杂质,确保井下作业的顺利进行。通过优化油管的直径和壁厚设计,清洗井眼过程中油管的强度和柔性得到了良好的平衡,使其在面对不同井眼直径和形状的复杂环境时,依然能够灵活操作并保持较高的清洗效率。

2.3 磨铣作业中的应用

磨铣作业是水平井段作业中的重要环节之一。优化设计的连续油管在此过程中具备卓越的抗磨损性能。通过在油管外表面涂覆耐磨涂层,连续油管能够在长时间的磨铣作业中保持良好的耐磨性,减少因磨损导致的停工维护。此外,优化后的连续油管在高应力下依然能够维持稳定的作业状态,确保磨铣作业的高效进行。这种设计不仅延长了油管的使用寿命,还显著降低了作业过程中因磨损而产生的意外停工风险,从而提升了整体作业的安全性和经济性。

2.4 酸化和压裂作业中的应用

在酸化和压裂作业中,优化设计的连续油管具备在高压环境下的卓越性能。由于水平井段作业中对注入液体的均匀性要求较高,油管的柔性和抗疲劳性能尤为重要。优化后的连续油管通过精确的材质选择和结构设计,确保其在高压环境下能够稳定运行,避免因应力集中而导致的油管破损。此外,油管的优化设计还提高了酸液和压裂液的均匀注入效果,增强了油气层的渗透性,从而提升了井筒的产量和开采效率。

2.5 工具接口与匹配性的应用

在水平井段的复杂作业中,连续油管与各类作业工具的

匹配性是确保作业成功的关键因素之一。优化设计的连续油管不仅在材质和结构上进行了调整，还通过改进接口设计，增强了与井下工具的兼容性和操作效率。比如，在打捞作业和磨铣作业中，连续油管的接口设计可以实现与多种工具的快速切换，从而在不同作业场景中灵活应对。为了适应水平井段作业中多变的环境，连续油管的工具接口经过优化后，其可以在高压、高温及高磨损等极端条件下保持稳定的连接性能。这种设计不仅减少了因接口不匹配导致的作业中断，还可以通过精确的工具匹配提高作业的成功率。此外，专门为酸化和压裂作业设计的工具接口，也可以确保连续油管在复杂作业中的稳定运行，提升作业的整体效率和效果。

3 效果评估

为了验证优化设计的连续油管在水平井段作业中的实际效果，本研究选择了多个典型油田进行应用分析，并综合考虑了多种关键性能指标，如修井作业中的卡管事故发生率、磨铣作业中的耐磨性能、以及酸化和压裂作业中的作业稳定性和效率，从而分析本优化设计的实际应用效果。

3.1 修井作业中的效果评估

在修井作业中，优化设计的连续油管表现出了显著的优势。通过对比分析发现，优化后的油管在通过弯曲井段时的卡管事故率降至原有水平的 0.23%，显著低于传统油管的 0.74%。这说明连续油管在柔性和抗疲劳性能方面的改进，使其能够更顺利地通过复杂的井眼轨迹。此外，修井作业的整体效率提高了约 18.7%，每个作业周期平均缩短了 3.8 小时，说明本优化策略降低了频繁起下管作业的风险和相关的安全隐患。

3.2 磨铣作业中的效果评估

在磨铣作业中，优化设计的连续油管同样展现出了卓越的耐磨性能。通过在外表面涂覆耐磨涂层，连续油管的使用寿命得到了显著提升。数据显示，优化后的油管在连续磨铣作业中的磨损速率降低至每小时 0.0068 毫米，而传统油管的磨损速率为 0.0094 毫米。进一步的统计表明，经过 20 次磨铣作业后，优化设计的连续油管仍保持了 95.4% 的原始壁

厚，而传统油管只剩下 88.1%。如此结果说明，优化后的连续油管能够在长时间高强度的磨铣作业中维持更长的使用寿命，减少了作业中断的频率，提升了整体作业的安全性和经济性。

3.3 酸化和压裂作业中的效果评估

在酸化和压裂作业中，优化设计的连续油管通过其卓越的高压环境适应性，提高了作业的稳定性和均匀性。测试结果表明，在压力高达 78.5 MPa 的条件下，优化后的油管仍能保持 0.98 的应力集中系数，显著优于传统油管的 0.86。这种稳定性不仅有效提高了酸液和压裂液的均匀注入效果，还增强了油气层的渗透性。实际应用数据显示，使用优化设计的连续油管后，井筒的酸化效率提升了约 12.6%，压裂效果的提升也达到了 9.3%。同时，每次酸化和压裂作业的平均时间缩短了 4.2 小时，作业成本减少了约 15.4%。

3.4 综合效益分析

综合分析各项作业中的表现，优化设计的连续油管在多个方面都表现出了较为不错的经济效益和技术优势。在修井、磨铣、酸化和压裂作业中的整体效率提升明显，平均作业时间缩短了约 22.1%，这样的优化效果直接降低了油气田的运营成本。此外，连续油管的使用寿命得到有效延长，也缩减了设备的更换频率和停工维护时间，从而提高了作业的连续性和安全性。

4 结论

本文通过对连续油管在水平井段作业中的优化设计与应用研究，验证了其在提升作业效率和安全性方面的显著优势。通过材料的精确选择、直径与壁厚的优化设计、连接方式的改进以及耐磨性能的提升，优化后的连续油管在复杂井下环境中展现出了卓越的适应性和耐久性。这些改进不仅在修井、清洗井眼、磨铣、酸化和压裂等关键作业中实现了效率和效果的显著提升，还大大降低了作业中断的风险和成本。研究结果验证了本优化设计的科学性和实用性，随着油气开采难度的增加，未来研究应持续推进连续油管的优化设计，从而不断提升油气井作业效率和经济效益。

参考文献

- [1]毛曙光, 李锐, 孟志刚. 双层连续油管装置与基本工具设计研究[J]. 设备管理与维修, 2024, (15): 154-156.
- [2]刘海龙, 祝欢, 韩子建, 杜军军, 金成洪, 韩光耀, 南荣丽. 连续油管压裂用平衡阀优化设计与试验[J]. 石油矿场机械, 2023, 52(06): 75-79.
- [3]郭雪, 丛恩会, 张贺臣, 屈志明. 连续油管防喷器闸板导向结构优化设计[J]. 机械, 2023, 50(01): 14-19.