

连续油管传输电动切割打捞一体化技术在大修中的应用研究

刘骏

辽河油田辽河工程技术分公司修井技术服务大队

DOI : 10.32629/jpm.v7i5.8926

[摘要] 随着油田开发的深入,部分油水井因长期开采出现套管损坏、落物滞留等问题,传统大修技术面临效率低、风险高等局限,连续油管传输电动切割打捞一体化技术应运而生。该技术利用连续油管作为传输媒介,将电动切割与打捞工具送至井下预定位置,通过电机驱动切割刀片旋转实现切割,并利用一体化设计的打捞工具抓取落物。在辽河油田大修中,依据井况设计应用方案,经现场施工实践,显著缩短了施工周期,降低了作业成本,展现出安全性高、适应性强的优势,对保障油田稳产具有重要意义,为国内其他油田类似井况下的技术应用提供了借鉴。

[关键词] 连续油管; 电动切割; 打捞一体化技术; 辽河油田; 大修

Research on the Application of Integrated Continuous tubing Transmission, Electric Cutting, and Salvage Technology in Major Overhauls

Liu Jun

Well Maintenance Technical Service Team, Liaohe Engineering Technology Branch, Liaohe Oilfield

[Abstract] With the advancement of oilfield development, some oil and water wells have encountered issues such as casing damage and foreign object retention due to prolonged extraction. Traditional overhaul techniques face limitations including low efficiency and high risks, leading to the emergence of the integrated continuous tubing transmission, electric cutting, and salvage technology. This technology utilizes continuous tubing as a transmission medium to deliver electric cutting and salvage tools to designated downhole positions. The cutting operation is performed by motor-driven rotating blades, while the integrated salvage tool captures retained objects. During major overhauls at Liaohe Oilfield, the application plan was tailored to specific well conditions. Field implementation demonstrated significant reductions in construction duration and operational costs, along with superior safety and adaptability. This technology plays a crucial role in ensuring stable oilfield production and provides valuable reference for similar well conditions in other domestic oilfields.

[Key words] Continuous tubing; Electric cutting; Integrated salvage technology; Liaohe Oilfield; Major overhaul

引言

大修作业成为恢复油水井生产能力的关键技术手段。通过实施大修,可有效解决井筒完整性问题,延长油水井使用寿命,保障油田的高效开发与可持续发展。因此,研究适用于油田复杂井况大修技术具有重要现实意义。在辽河油田的大修作业中,传统技术如常规打捞和切割技术面临诸多挑战。由于部分井具有井深大、井斜角高以及水平段长等特点,常规打捞工具往往难以准确抓取落物,且易在复杂井况下发生二次卡钻事故,导致施工效率低下。此外,传统切割技术通常依赖于机械力或液压驱动,其切割能力受限,尤其在处理高强度管材时效率较低,同时存在切割不均匀导致工具损坏的风险。这些技术局限性使得传统方法在应对复杂井况时显得力不从心,难以满

足现代油气田开发对高效、安全作业的需求,因此亟需引入更为先进的大修技术以提升作业水平。

1. 连续油管传输电动切割打捞一体化技术原理

1.1 连续油管传输原理

连续油管通常由高强度低碳合金钢制成,具有良好的柔韧性与抗疲劳性能,能够适应复杂的井眼轨迹和高温高压环境。在辽河油田的大修作业中,连续油管作为传输媒介,承担着将电动切割工具与打捞工具送达井下预定位置的关键任务。其作业优势主要体现在:连续油管可通过卷筒装置实现快速下入与起出,显著缩短施工周期;由于无需接箍连接,减少了管柱失效的风险,提高了作业的安全性与可靠性;连续油管的柔性特性使其能够顺利通过井斜段及水平段,为复杂井况下的切割与

打捞作业提供了技术支持。

1.2 电动切割原理

目前，电动切割工具通常采用电机驱动切割刀片旋转的方式实现切割作业，其动力来源主要包括电缆供电与液压驱动两种形式。在大修作业中，电缆供电方式因其操作简便、能量传输效率高的特点而被广泛应用。电机通过电缆提供的高压电能驱动切割刀片高速旋转，同时配合适当的切削力与进给速度，实现对井下管柱的精确切割。切割参数的选择对切割效果具有重要影响，较高的切割速度可以提高作业效率，但可能增加刀具磨损；而较大的切削深度则可能导致切削力过大，进而引发工具卡钻或损坏的风险。

1.3 打捞一体化设计

一体化设计通过模块化结构将打捞工具与切割工具集成在同一管柱系统中，避免了传统作业中频繁更换工具的弊端。此外，水力振荡器的引入有效降低了打捞过程中因摩擦阻力导致的卡钻风险，通过产生轴向振动帮助打捞工具顺利通过复杂井段。在实际应用中，一体化设计不仅显著提高了打捞作业的成功率，还大幅缩短了施工时间，为油田大修作业的高效实施提供了有力保障。

2. 辽河油田大修井况分析

2.1 井身结构特点

井身结构复杂，井深普遍较大，部分水平井的垂深超过3000米，同时水平段长度较长，这对连续油管传输电动切割打捞一体化技术的应用提出了较高的要求。此外，井斜角的变化范围较大，尤其是在水平井段，井斜角接近90°，这种高斜度井段容易导致连续油管在下入过程中摩擦阻力增大，从而影响工具的输送效率和定位精度。套管程序方面，多采用多层套管设计以应对不同地层压力系统，但套管之间的环空间隙较小，限制了连续油管及配套工具的外径选择，进一步增加了技术实施的难度。

2.2 井下故障类型

主要包括套管变形、落物卡钻等。套管变形占比约为35%。这类故障会导致井眼通道变窄，影响连续油管的顺利通过，并可能损坏工具表面。落物卡钻约占故障总数的30%。落物卡钻不仅阻碍了连续油管的正常下入，还可能导致打捞工具无法准确抓取目标物体。管柱断裂发生率约为25%。断裂后的管柱残留在井内，增加了打捞作业的复杂性和风险。其他类型的故障，如砂桥堵塞和密封失效等，合计占比较小，但同样对技术应用构成挑战。

2.3 作业环境条件

主要体现在温度、压力和流体性质三个方面。部分井段的温度可达150℃以上。高温环境下，工具的电气元件和密封部件容易发生老化或失效，从而影响作业可靠性。压力方面，部分区块地层压力较高，且存在异常高压层，这要求连续油管及其配套工具具备足够的承压能力，同时需要合理设计作业参数以防止井喷等事故的发生。流体性质方面，井内流体通常含有高浓度的盐水、二氧化碳和硫化氢等腐蚀性介质，这对工具的耐腐蚀性能提出了严峻考验。此外，流体中的固相颗粒可能加剧工具磨损，降低其使用寿命。

3. 一体化技术大修中的应用

3.1 应用方案设计

在工具组合方面，采用连续油管作为传输媒介，将电动切割工具与打捞工具集成于一体，以实现高效作业。具体而言，工具串通常包括连续油管、电动切割装置、打捞筒等辅助工具，以提高作业过程中的适应性。在作业流程设计上，首先通过连续油管将一体化工具下放至目标位置，随后利用电动切割工具对卡钻或断裂管柱进行切割，最后通过打捞筒抓取落物并起出井口。施工参数的设定则需根据井深、井斜角等条件优化调整；此外，为确保方案可行性，还需结合实际井况进行模拟分析。同时，考虑到致密气藏易因压井作业导致储层伤害的问题，应采用带压作业技术，避免气层漏失与排液困难等问题的发生。通过上述设计方案，可有效提升一体化技术在辽河油田大修中的应用效果。

3.2 现场施工流程

主要包括连续油管下入、电动切割工具定位、切割作业等步骤。在连续油管下入阶段，需确保管柱无明显损伤，并严格控制下放速度，避免因井眼轨迹复杂而导致管柱卡阻。同时，需实时监测连续油管的张力与压力变化，确保其在安全范围内运行。

进入电动切割工具定位阶段后，需借助井口导向装置与井下测量工具，精确调整切割工具的位置，确保其位于目标切割点正上方。随后启动电动切割装置，通过电机驱动切割刀片旋转，逐步完成对卡钻或断裂管柱的切割作业。在此过程中，需根据切割效果动态调整切割参数，如转速与进给量，以提高切割效率并减少工具磨损。

切割完成后，打捞工具开始执行抓取落物任务。打捞筒内的卡瓦与捞矛部件在接触到落物后自动张开并抓取，随后通过上提连续油管将落物带出井口。在此过程中，需特别注意保持上提力平稳，避免因突然加载导致工具失效或落物再次脱落。若遇卡情况，可通过水力振荡器提供额外的振动辅助，以降低摩擦阻并实现顺利起出。整个施工流程需严格按照设计方案执行，并实时记录各项参数变化，为后续优化提供参考依据。

3.3 复杂情况处理

现场施工中仍可能面临多种复杂情况，需采取针对性的预防与应对措施。切割失败是较为常见的问题之一，其主要原因包括切割参数设置不当、工具磨损严重以及井下环境复杂等。为预防切割失败，应在施工前对切割工具进行全面检查，并根据井底条件优化切割参数。此外，可通过引入智能监测系统，实时获取切割过程中的温度、振动等数据，以便及时调整工艺参数或更换工具。

打捞工具遇卡则是另一大挑战，打捞筒可能因摩擦阻过大而无法顺利起出。为应对该问题，可在打捞管柱中增设水力振荡器与减阻短节，通过提供轴向振动与降低摩擦阻的方式提高打捞成功率。若遇卡情况较为严重，可采用连续管穿芯解卡工艺，重新建立循环通道进行冲砂，实现解卡打捞。此外，针对可能出现如连续油管拉等其他复杂情况，需制定详细应急预案。

3.4 应用效果分析

传统大修技术通常采用常规打捞和切割方式，由于需要多

次起下钻具以及复杂的操作流程,导致施工周期较长。该技术通过连续油管作为传输媒介,实现了电动切割工具与打捞工具的一体化作业,减少了起下钻次数,并能够在带压工况下直接进行切割与打捞操作。现场数据显示,采用该技术后,平均单井施工周期从原来的20-30天减少至10-15天,施工效率提高了约50%。此外,连续油管作业具有快速安装和拆卸的特点,进一步优化了整体作业流程,为油田高效开发提供了有力支持。

统计分析发现,在设备费用、材料费用等方面均实现有效控制。在设备费用方面,传统大修技术通常依赖大型修井机及相关辅助设备,其租赁和使用成本较高;而连续油管作业设备相对轻便且模块化程度高,能够降低设备投入成本。在材料费用方面,由于一体化技术减少了起下钻次数,从而降低了钻具磨损和损耗,同时简化了作业流程,减少了不必要的材料消耗。在人工费用方面,通过自动化和智能化手段提高了作业精度,减少了人工干预,进而降低了劳动力成本。综合来看,应用一体化技术后,大修作业成本平均下降了30%-40%,充分体现其在成本控制方面的优越性。

4. 技术不足与改进措施

4.1 存在问题分析

首先,部分复杂井况下工具的适应性不足成为主要问题之一。此外,对于存在严重套管变形的井段,一体化工具可能因尺寸不匹配而无法顺利通过,导致施工中断甚至二次事故。其次,切割效率受多种因素影响,包括井下温度、压力等。高温环境下,电动切割工具的电机性能可能下降,从而影响切割速度和精度;而高压条件下流体冲刷则可能导致切割刀片磨损加剧,进一步降低切割效果。此外,现场施工中还发现,部分落物材质特殊或形状不规则时,现有打捞工具的抓取成功率较低,需多次尝试才能完成打捞作业,这不仅延长了施工周期,也增加了作业风险。

另外,在应对多层级落物时的能力有限。当井下落物堆积较多且分布不均时,单一的切割打捞工具组合难以实现高效处理,往往需要分多次进行切割和打捞操作,这无疑增加施工的复杂性和成本。同时,连续油管本身在长水平段内的疲劳损伤问题也不容忽视,特别是在频繁起下钻过程中,连续管易发生局部变形甚至断裂,给施工安全带来潜在威胁。

4.2 改进措施探讨

首先,工具设计方面,应重点优化切割和打捞工具结构,使其具备更强的适应性和可靠性。如可通过采用模块化设计理念,使切割刀片和打捞卡瓦等关键部件能够根据具体井况快速更换,适应不同类型落物的处理需求。此外,引入高强度、耐高温材料制造切割工具,可有效提升其在恶劣环境下的性能表现,延长使用寿命并提高工作效率。对于打捞工具,建议设计更为灵活的抓取机构,如采用自适应卡瓦或多功能捞矛,以应对不规则形状落物抓取难题。

其次,在施工工艺改进方面,需结合现代智能化技术,提升施工过程的精准性和可控性。例如,利用实时监测系统对连续油管下入深度、切割参数及打捞工具状态进行动态监控,可

及时发现并处理异常情况,避免因操作不当导致的施工失败。同时,借鉴穿芯解卡工艺的成功经验,可在复杂井况下引入双提升系统修井机,通过悬挂连续油管并建立循环通道进行冲砂解卡,从而减少因砂桥或落物卡钻导致的施工中断风险。此外,针对多层级落物问题,可开发“分段切割+逐级打捞”的复合工艺,即先通过精确切割将落物分层,再依次使用专用打捞工具进行清理,以提高整体施工效率。

最后,配套技术支持方面,应加强理论研究与实践验证的结合,为技术改进提供科学依据。如通过开展室内模拟实验,系统研究不同井况条件下切割参数与打捞效果的关联性,为现场施工提供优化建议;建立完善的施工数据管理系统,对每次作业的关键参数和效果进行记录分析,有助于总结规律并指导后续施工。此外,还需加强对操作人员的专业技能培训,确保其能够熟练掌握新工具和新工艺的使用方法,从而最大限度地发挥一体化技术的优势。

综上所述,通过工具设计优化、施工工艺改进以及配套技术支持等多方面的努力,可以有效克服连续油管传输电动切割/打捞一体化技术在辽河油田应用过程中暴露出的不足,为其在更广泛领域内的推广和应用奠定坚实基础。

5. 结论与认识

(1) 该技术通过连续油管作为传输媒介,将电动切割工具与打捞工具相结合,实现了对套管变形、落物卡钻及管柱断裂等常见井下故障有效处理。现场应用结果表明,能够显著缩短施工周期,降低作业成本,并提高作业成功率。特别是在辽河油田这种长期开采导致井况复杂的区域,展现了良好的适应性,为油田稳产提供了重要技术支持。此外,一体化设计避免了传统技术中多次起下管柱的操作,减少了作业风险,验证了其在实际应用中的可行性和优越性。

(2) 未来研究应重点结合智能化技术,开发具备实时监测和自动调控功能的智能工具系统,提高作业的精准性和可靠性;优化工具设计,增强在极端井况下的适应性;开展切割参数与作业条件的匹配研究,提升切割效果;加强专用打捞工具的模块化和多功能集成设计,使其能够更好地应对多样化井下故障,为复杂井况下的高效作业提供技术保障。这些研究方向的探索将为该技术的进一步完善和推广奠定坚实基础。

[参考文献]

- [1] 宁治军;张宁刚;韩滔;宁远;杨红斌.连续油管切割打捞工具及打捞工艺技术[J].内蒙古石油化工,2023,49(10):74-76.
- [2] 张武滔;杜汶泽;李军;姜令.水平井连续油管落鱼打捞技术研究[J].石化技术,2022,29(7):73-75.
- [3] 艾白布·阿不力米提;虎德新;王全;郭新维;杨文新;焦文夫.连续油管打捞连续油管关键工具研究与应用[J].石油钻探技术,2019,47(6):89-95.
- [4] 董方平;蒲寅;吴永兴;乔志才;朱培珂;阚凯.特色连续管作业技术的应用与发展思考[J].石化技术,2022,29(10):90-92.
- [5] 周刚;饶志刚;刘润;严辉;周君华;周曦.RCT 精准切割技术在修井作业中的应用[J].石油石化物资采购,2022,(16):67-69.