

连续油管技术在井下作业中的应用浅谈

蒋军

工程技术增产作业公司, 天津 300452

DOI:10.61369/ADA.2025010008

摘要： 本文围绕连续管技术在井下作业中的应用进行讨论，对连续管技术的工作原理和特点进行详细的阐述，对其在钻、修井、采油等方面的具体应用场景和案例进行深入的分析，同时对其应用中遇到的问题进行探讨，并提出相应的解决措施，以期对进一步认识和促进其在井下作业中的创新和优化应用具有一定的借鉴意义，对提高井下作业效率、降低成本、保证作业安全具有重要意义。

关键词： 连续油管技术；井下作业；钻井；修井；采油

Application of Continuous Tubing Technology in Underground Operations

Jiang Jun

Engineering Technology Production Increase Operation Company, Tianjin 300452

Abstract： This article discusses the application of continuous pipe technology in underground operations, elaborates on the working principle and characteristics of continuous pipe technology, and conducts in-depth analysis of its specific application scenarios and cases in drilling, well repair, oil production, and other aspects. At the same time, the problems encountered in its application are discussed, and corresponding solutions are proposed, in order to provide certain reference significance for further understanding and promoting its innovative and optimized application in underground operations. It is of great significance for improving underground operation efficiency, reducing costs, and ensuring operation safety.

Keywords： continuous tubing technology; underground operations; well drilling; well repair; oil extraction

前言

石油天然气开采过程中，井下作业涉及到钻、修、采等多个环节，是保证油气生产安全的重要环节。随着油气资源勘探开发向深部和复杂地质区发展，传统的井下开采工艺已难以满足其高效、安全和环境保护的要求。连续油管作为一项新兴的井下作业技术，以其特有的优点，近年来发展迅速，应用范围也越来越广。连续油管是由特殊设备连续送至井下，与各类井下工具配合使用，可实现多种作业功能。连续油管自上世纪60年代问世以来，经过几十年的发展，已经在世界范围内得到越来越广泛的应用，技术水平也在不断提高，已经成为推动井下作业技术革新的一支重要力量。

一、连续油管技术概述

连续管技术以其柔性、高强度等特点为核心，在地面设备的牵引与控制下，将连续管及其携带的工具送至指定位置，完成各项作业任务。连续管作业车、注液头、滚筒等地面设备协同作业，实现连续管的收放、速度控制及压力调整。同时，利用与之相匹配的钻头、封隔器和喷砂器等井下工具，进行钻井、完井、修井和增产等作业。如连续油管钻井时，连续油管由注水井向井下，连续油管驱动钻头旋转破岩，并在管内循环钻井液，达到携

岩、清孔的目的。

二、连续油管技术在井下作业中的应用

（一）在钻井作业中的应用

1. 欠平衡钻井

欠平衡钻进技术是连续管钻井技术的重要发展方向，其核心思想是利用连续管装置在钻井过程中，将井底压力控制在低于地层压力的水平，驱动地层流体向井底流动，从而实现地对层流体

作者简介：蒋军（1981.09-），男，汉族，四川省广安市人，中级工程师，学历：大学本科，学位：学士，主要研究方向：从事修完井井下作业技术研究，擅长连续油管相关技术研究。身份证号码：513623198109261615。

的有效控制。这一独特的压差设计，可有效降低钻井液对储层的损害，避免常规钻井过程中由于液柱压力过高造成的油气层污染，实现油气井产能的大幅提升。介绍一种适用于页岩气开发的连续管欠平衡钻进工艺。在生产过程中，通过对连续油管注流量及井口压力的精确控制，使油管处于欠平衡状态。同时，利用连续管柔性好、转向灵活等优点，可在复杂地质条件下钻进，有效避免井壁坍塌等风险。相较于传统钻进方法，单井产量可提高30%以上，大幅提高页岩气开发效率，同时也证明连续管欠平衡钻在非常规油气资源开发方面的巨大潜力^[1]。

2. 小井眼钻井

小井眼钻井具有成本低、占地面积小等优点，在老油田加密井和边际油气藏开发等领域受到青睐，连续管正适合于小井眼钻井。连续管外径小，能在狭窄的井眼内自由穿行，并能携带小而高效的钻具，保证钻井作业的顺利进行。在某老油田进行的密井工程中，应用连续管小井眼钻进工艺，取得较好的经济效益。小井眼空间受限，常规管柱联接极易发生卡钻事故，连续油管具有连续无缝特征，可有效解决这一问题。在降低钻井成本的基础上，进一步提高油气开采效率，实现老油田剩余储量的有效利用，为油田可持续发展提供有力支撑^[2]。

3. 侧钻水平井

连续管侧钻水平井技术是深挖老井资源、高效利用老井资源的一种新工艺。该技术是在既有直井或定向井中，采用套管开窗侧钻的方式，在现有直井和定向井中，通过套管开窗侧钻，形成新的水平井段，实现剩余油气资源的高效利用，大幅降低开发成本。针对某海上油田部分油层开采困难，常规开发方法经济效益不高的现状，提出采用连续管侧钻水平井技术，实现资源高效开发。连续油管在作业过程中，利用其灵活的转向能力，准确地钻出满足设计要求的水平眼井段，并能迅速下入完井工具，大大缩短作业时间。该技术已成功开发一批难采的油层，增加较多的原油产量，充分体现管侧钻水平井技术在提高油气采收率和盘活老井资产方面的应用价值^[3]。

（二）在修井作业中的应用

1. 清蜡、清砂作业

在石油、天然气井开采过程中，经常会遇到结蜡、出砂等问题。石蜡沉积在油管的内壁上，会使流动截面积减小，流动阻力增大，严重时会造成油管堵塞；地层中的沙粒进入井筒后，不仅对井下设备造成磨损，而且容易堆积，造成管柱堵塞，影响油气的正常生产。连续管具有柔性、可连续工作等特点，是实现高效清蜡、清砂的关键技术。作业中，连续油管携带专用的刮蜡工具和冲砂工具，经地面设备将高压流体注入管内。清蜡过程中，刮蜡装置在高压流体的推动下，沿管壁运动，刮去蜡屑，沿环空循环至地表。针对一口高含蜡原油，采用常规清蜡方法，需要多次起下管柱，单次清蜡时间超过8小时，对油层的扰动较大。采用连续油管清蜡工艺，在2小时内完成作业，大大缩短油井恢复生产时间，避免多次下管柱对油层的损害，投产后油井产量提高12%；在清砂过程中，连续管带着冲砂工具深入积砂段，高压流体以高速喷射的方式冲击砂床，使沙粒悬浮，再循环出井。在海上某气井清砂作业中，采用连续油管清砂技术，对30m井段的积砂进行清砂，较传统方法提高40%，有效地保证气井的稳定生产^[4]。

2. 解堵作业

地层堵塞是导致油气井产量下降的主要原因，主要有地层结垢、有机物质沉积和钻井液固相颗粒滞留等。连续油管解堵作业能将解堵剂精确地输送到堵塞层，有针对性的解决问题。在施工前，先用测井方法查明堵塞部位及类型，然后选用酸、有机溶剂、生物酶等解堵剂。在施工过程中，连续管直接到达堵塞层，以准确的压力、流量向地层内注入解堵剂。在页岩气井解堵过程中，由于支撑剂的返排不畅，造成近井区的堵塞，产量降低60%。将自行研制的具有溶解堵塞物和抑制二次运移的复合解堵剂注入连续油管。连续管采用分段注气技术，对不同堵塞度段进行压裂改造，投产后台产量恢复到原来水平，验证连续管解堵法的有效性和精确性^[5]。

3. 打捞作业

井下工具或管柱脱落将导致生产中断，传统打捞方式受限于复杂井眼环境，连续油管因操作灵活、控制精准等优势，在打捞作业中表现出独特的优势。连续管搭载各种类型的打捞工具，如抓钩、捞矛和篮式捞筒等。在作业过程中，首先利用井下摄影机或测井仪器来判断落物的位置及姿态，然后在连续油管下入合适的打捞工具。在某油田某定向井施工过程中，由于封隔器解封失效而造成管柱堵塞，用常规方法很难解决。利用连续油管携带专用旋转抓钩实施打捞，在地面上控制连续油管旋转提拉，实现对封隔器的精确抓取，3次尝试后成功取出，省去大修工作，节约上百万元的费用。将连续油管打捞技术应用于复杂的井下作业，为井下事故处理提供一种高效经济的方法^[6]。

（三）在采油作业中的应用

1. 注液增产作业

在油气田开发过程中，普遍存在着储层渗透率降低和产能下降的问题。连续油管注液作业是将压裂液、酸化等特种流体注入油层，能有效地改善油层的渗流状况，增加原油产量。连续管是压裂过程中高压流体的输导通道，它能准确地将压裂液输送到靶层。施工过程中，地面装置向连续油管内注入高粘压裂液，在井底形成高压，压裂岩石形成新的裂缝，同时采用石英砂、陶粒等支撑剂使裂缝张开，增加油气运移通道。针对某低渗透油田常规直井采出能力低的问题，采用连续管分段压裂技术，将油层分为多段压裂，并分段注压裂液、支撑剂。该工艺充分利用连续管在不同井段的灵活性，克服常规作业中频繁下管柱的弊端，将单井日产量由3吨提高到8吨，大大提高采收率；另外，酸化作业也离不开连续管的精确注水能力。针对因结垢、堵塞等原因造成产能降低的油层，采用连续油管注酸，溶解地层中的碳酸盐、硫化物等堵塞物，恢复并提高油层的渗透率。在碳酸盐岩储层中，采用连续管酸化工艺对近井段钙质沉积物进行酸化处理，取得较好的增产效果^[7]。

2. 气举采油作业

气举采油是一种利用高压气体降低井下流体密度，将原油提升到地表的一种采油方式。连续管是气举采油过程中高效注气通道，具有较强的适应性与灵活性。连续管气举在深井、低产井生产中的应用具有明显的优越性。作业过程中，高压气体通过连续管注入至井底适当深度，与原油发生混合，降低原油密度，并在井口回压及油层压力的共同作用下将原油提升至地表。针对某海上边际油田的实际情况，提出用常规方法进行采油的方法。采用

连续管气举工艺后,可根据油井的具体情况灵活地调整注气深度及注气量。通过对井口压力、产量的实时监测,对气举参数进行动态优化,使濒临停产的油井恢复稳定生产,单井平均日产量达到5吨,使边际油藏资源得到有效活化^[8]。

3. 井下监测与数据采集

随着油田智能化的发展,井下监测和数据采集已成为油田优化生产的一个重要环节。连续油管因其柔性好、承载能力强等特点,可将各种高精度传感器搭载到井下,实现对储层动态参数的实时监测。井下常用的传感器有:压力传感器,温度传感器,流量传感器,含水量传感器等等。在智能化油田示范区中,采用连续油管将分布式光纤传感器送入井内,实现对井下温度、应变等参数的连续测量,实现油层产出剖面的精细监测。通过对油层温度变化的分析,准确地判断油层中不同部位的产液状况;利用这些数据,及时地发现套管的变形和其他潜在的问题。另外,在连续管上还安装电磁流量传感器,对各个层段的油、水流量进行准确测量,为储层动态分析、生产决策提供可靠的数据支持。在此基础上,油田操作员可根据实时监测数据,及时调整采油方案,优化注采参数,提高油井平均产量15%以上,减少盲目开采造成的资源浪费与设备损失,促进油田生产向智能化、高效方向发展^[9]。

三、连续油管技术应用面临的挑战及对策

(一) 面临的挑战

1. 设备与材料问题

连续管装备生产工艺要求高,一些高端装备、关键部件依赖进口,生产成本低。同时,为更好地适应井下复杂的地质环境,还需要进一步提高材料的强度和抗腐蚀性能。在井下高温高压强腐蚀环境下,油管极易发生疲劳断裂、腐蚀穿孔等失效现象,严重影响生产安全与生产效率。

2. 作业工艺复杂性

连续油管作业涉及到钻、修井、采油等多个技术环节,各工序间的协作要求很高。由于井下复杂情况,需要综合考虑地层特征、井眼轨迹、设备等因素,才能更好地进行钻井作业。另外,连续油管在运行过程中的参数控制较为复杂,如压力、流量、流速等参数的准确控制,直接关系到生产效果与安全^[10]。

3. 人员技术水平不足

连续油管施工技术是一项需要熟练操作、熟练操作,具有较

高专业素质的综合技术。目前,我国具有熟练操作连续油管设备及掌握相关操作技术的专业人才较少,部分操作人员对设备的使用与维护不够熟练,对复杂工艺的理解与应用能力有限,难以满足实际生产需要。

(二) 应对对策

1. 加强设备与材料研发

鼓励企业与高等院校、科研院所开展联合攻关,形成具有自主知识产权的高端连续管装备及高性能材料,提升我国装备国产化水平及材料性能。如研究开发新的高强韧防腐连续管,延长其使用寿命;对连续油管作业设备进行优化设计,提高设备的自动化和智能化程度,减少设备费用,降低操作难度。

2. 优化作业工艺

通过对不同井下连续油管作业技术特点及规律的研究,结合实际工作经验,不断优化作业流程。建立完备的生产过程数据库与模型,运用计算机仿真技术演练与优化生产过程,提高生产过程科学合理。加强各工序间的协调与协作,制订标准化操作程序及操作规程,保证生产过程安全高效。

3. 加强人员培训

建立和完善连续油管专业技术人员的培训体系,加强与高等院校和科研院所的合作,开展多种形式的培训。培训内容应从设备使用、维护、操作流程、安全管理等方面进行。同时,鼓励企业开展内部培训、技术交流等活动,营造学习氛围,促进科技人才的成长与进步。

四、结论

连续管技术因其作业效率高、适应性强、安全环保等优点,在井下钻、修井、采油等方面发挥着不可替代的作用。在钻探领域中,利用该技术,欠平衡钻进、小井眼钻进、侧钻水平井等作业,大大提高生产效率和产能;在修井作业中,由于连续管的使用,清蜡清砂、解堵、打捞作业更加精确、高效;在生产过程中,还进行液体注入、气举和井下监测等方面的优化。然而,该技术在设备、工艺、人员等方面还存在着设备依赖进口,材料性能有待提高,过程复杂和参数调控困难,缺乏专业人才。未来,连续管技术将向装备智能化、材料高性能化、操作流程不断优化、大数据、物联网等技术的深度融合,使其在复杂的井下作业中发挥更大的价值,促进油气产业的技术创新和可持续发展。

参考文献

- [1] 张健. 浅谈连续油管技术在井下作业中的应用现状及思考 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(17): 179-180.
- [2] 何君涛. 连续油管技术在井下作业打捞解卡中的运用 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022, 42(1): 174-175.
- [3] 朱德儒, 高秋菊. 连续油管技术在井下作业中的应用 [J]. 石油工程建设, 2022, 44(9): 172-174.
- [4] 刘申策, 王 冬, 倪庆怀. 连续油管技术在井下作业中的可靠性评估 [J]. 工程施工新技术, 2025, 4(6).
- [5] 倪庆怀, 刘申策, 王 冬. 基于连续油管技术的井下作业风险评估 [J]. 工程施工新技术, 2025, 4(4).
- [6] 倪庆怀, 刘申策, 王 冬. 连续油管技术在井下作业压裂中的应用与优化 [J]. 工程管理与技术探讨, 2025, 7(6).
- [7] 朱楠, 张莹. 试论连续油管技术在井下作业中的应用 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(16): 171-173.
- [8] 蔡孟哲. 浅谈连续油管井下作业技术应用及前景展望 [J]. 中国设备工程, 2021(12): 211-212.
- [9] 马浩楠. 新形势下油田井下作业中的连续油管技术 [J]. 工程施工新技术, 2024, 3(15).
- [10] 张拢. 连续油管在井下作业中的应用分析 [J]. 石化技术, 2023, 30(1): 85-87.。