

连续油管排水采气工艺适用性分析

侯 奇

中国石油化工股份有限公司中原油田分公司石油工程技术研究院 河南 濮阳 457001

摘 要: 连续油管排水采气工艺是油气田开发关键技术, 本文先系统概述其技术特性、核心原理与标准化流程, 接着从气井地质、流体参数、井筒工况、施工经济及其他因素深入分析适用性影响因素。随后开展多维度适用性评估, 涵盖气井条件适应性、工艺参数优化、经济效益评估及技术推广与环境影响。研究表明, 该工艺在低产低效气井复产、高含水气井稳产等场景优势显著, 通过精准适配气井条件与优化工艺参数, 可有效提升气井携液能力与产量, 延长经济开采周期, 实现经济与环境效益双赢。

关键词: 连续油管; 排水采气; 工艺适用性; 气井生产

引言: 油气田开发中后期, 地层能量衰减使气井携液能力下降, 积液在井筒底部积聚形成“液锁”, 增大井底回压, 抑制天然气产出, 严重影响气井产能与周期。传统排水采气工艺(如杆式泵排水、常规气举)有作业周期长、需压井停产、对地层伤害大、适配复杂井差等局限。连续油管排水采气工艺因作业周期短、可带压作业、地层伤害小、适配复杂井型等优势, 成为有效手段。厘清其原理与适用性边界意义重大, 本文将围绕此展开探讨。

1 连续油管排水采气工艺概述

1.1 连续油管技术简介

连续油管技术是一种高效的油气井作业技术, 核心是采用单根无接头、可连续缠绕的柔性油管, 配合专用注入头、防喷器组、绞车等设备完成井下作业。与传统螺纹连接油管相比, 连续油管具有作业周期短、占地面积小、对地层伤害低等优势, 可实现带压作业, 避免气井停产造成的产量损失。其管径范围通常为25mm至114mm, 材质多为高强度合金钢, 部分含腐蚀介质的气井选用耐蚀合金, 能适应不同井深、井斜及复杂井筒环境。该技术最初应用于修井作业, 如今已拓展至排水采气、酸化压裂、冲砂洗井等多个领域, 在低产低效气井复产、高含水气井稳产中发挥着重要作用^[1]。随着技术迭代, 连续油管作业设备日趋小型化、智能化, 作业效率和安全性显著提升, 成为油气田开发中不可或缺的关键技术之一。

1.2 排水采气原理

连续油管排水采气工艺的核心原理是通过连续油管构建井下作业通道, 针对性强化天然气携液能力, 破除井筒积液“液锁”。气井生产进程中, 地层天然气会携带地层水一同升向地面, 当能量不足以克服气液两相流

动阻力时, 水体在井筒底部积聚形成积液, 增大井底回压并抑制天然气产出。该工艺的技术路径需根据气井积液程度差异化设计, 其中连续油管-泡排复合工艺是主流应用形式, 适用于中低积液量气井: 通过连续油管将泡排剂精准注入积液区, 泡排剂在气流搅拌下形成低密度、低摩阻的稳定泡沫体系, 有效降低气液两相流密度与流动摩阻, 大幅提升天然气携液能力, 使积液随天然气流高效排出。对于高积液量气井, 可通过连续油管建立循环通道, 将井筒内积液直接抽排至地面; 或采用连续油管气举方式, 向井筒注入高压气体补充能量, 增强天然气携液能力。另外, 连续油管可搭载压力、液位等随钻监测工具, 精准获取井筒积液高度、井底压力等关键参数, 为工艺参数动态调整提供数据支撑, 确保排水效果精准可控。

1.3 连续油管排水采气工艺流程

连续油管排水采气工艺流程需紧密结合气井实际工况科学制定, 整体划分为作业准备、井下施工、排液监测及收尾四个关键阶段。作业准备阶段, 专业人员运用精密仪器对气井压力、积液量、流体性质(粘度、密度、含硫含碳量)等核心参数进行全面检测, 依据检测结果精准选型适配的连续油管、封隔器及配套设备, 确定泡排剂类型(非离子型、阴离子型)与浓度, 确保设备性能与气井条件高度匹配。随后, 对所有设备进行细致调试, 开展全方位安全检查, 排除潜在隐患。进入井下施工阶段, 通过连续油管作业车将油管平稳下入井筒指定深度。若采用复合排水工艺, 将泡排剂经连续油管按设计排量注入积液层, 静置反应30-60min后启动气井生产, 利用天然气流携带泡沫态积液至地面; 若采用物理排液, 则通过连续油管与井筒环形空间构建循环系统, 将积液抽排至地面储罐。排液监测阶段, 借助压力传感器、液

位计等先进监测设备,实时掌握排液效果,依据监测数据动态调整油管深度、泡排剂用量、循环排量等关键参数。作业完成后,起出连续油管,规范关闭井口装置,认真整理作业数据,全面评估工艺效果,为后续优化提供依据。

2 连续油管排水采气工艺适用性影响因素分析

2.1 气井地质条件影响因素

气井地质条件是决定连续油管排水采气工艺适用性的核心因素,主要包括地层渗透率、孔隙度、构造形态及地层压力等。地层渗透率越高,天然气流动能力越强,越易携带积液,工艺适配性越好;低渗透地层天然气产量低,携液能力弱,需采用连续油管-泡排复合工艺或强化气举措施。孔隙度影响地层储水能力,高孔隙度地层易形成大量积液,对排水工艺的效率要求更高^[2]。构造形态方面,倾斜井、水平井井筒积液分布复杂,连续油管下入难度增加,需优化油管路径设计与扶正器配置;垂直井积液集中于井底,工艺实施相对简便。地层压力直接决定气井产能,高压气井自身携液能力强,排水工艺以复合泡排维护为主;低压气井需借助外部能量辅助排液,工艺适配成本较高。地层岩性稳定性也会影响作业安全,易坍塌地层需提前做好井壁加固,避免作业过程中发生卡管事故。

2.2 气井流体参数影响因素

气井流体参数对工艺适用性的影响主要体现在流体组分、粘度、密度及含砂量等方面。流体组分中,天然气相对密度越大,携液能力越弱,越需要连续油管排水工艺介入;若流体中含硫化氢、二氧化碳等腐蚀性气体,需选用耐腐材质连续油管与泡排剂,增加工艺成本。流体粘度直接影响积液流动性,高粘度积液难以被天然气携带,需通过连续油管注入高效降粘型泡排剂,优化工艺参数以提升排液效率。密度方面,气液密度差越小,气液分离难度越大,积液越易积聚,需强化泡排剂发泡性能或连续油管的抽排能力。含砂量过高会磨损连续油管及井下设备,堵塞流通通道,降低工艺可靠性,需在作业前通过连续油管完成冲砂作业,预处理井筒环境。同时,流体的乳化程度也会影响排水效果,W/O型乳化液需选用破乳型泡排剂,才能通过连续油管高效排液。

2.3 井筒工况影响因素

井筒工况涵盖井深、井斜角、井筒完整性及结垢结蜡情况等,直接影响连续油管排水工艺的实施难度与效果。井深方面,深井井筒压力、温度变化大,连续油管需具备足够的强度和耐压性能,同时作业设备需满足长距离下入需求;浅井工艺实施难度低,适配性更广。井

斜角越大,连续油管下入时的摩阻越大,易发生卡管事故,需优化油管尺寸和下入速度,必要时采用扶正器辅助。井筒完整性包括套管完好程度、井口密封性等,套管破损会导致流体泄漏,影响排液循环效果,需提前修复;井口密封不严易引发带压作业安全事故,需强化密封措施。另外,井筒结垢、结蜡会缩小流通截面,阻碍连续油管下入和积液排出,作业前需通过酸洗、热洗等方式清理井筒,保障工艺顺利实施。

2.4 工程施工与经济因素影响

工程施工与经济因素决定连续油管排水采气工艺的可行性与推广价值。施工方面,现场施工条件如场地大小、交通便利性,影响作业设备的部署;偏远气田设备运输成本高,施工周期长,需评估工艺适配性。施工队伍的技术水平直接关系作业质量,专业团队能优化工艺方案,降低卡管、漏液等风险,提升作业效率。经济因素核心是成本与收益的平衡,包括连续油管设备租赁、泡排剂消耗、施工人工等直接成本,以及气井增产带来的间接收益。对于低产低效气井,需严格核算成本,确保工艺实施后能显著提升产量、延长气井寿命;若成本过高且增产效果有限,则需考虑替代工艺。工艺的施工周期也会影响经济效益,周期过长会增加停产损失,需优化流程缩短作业时间。

2.5 其他影响因素

除上述因素外,气候环境、政策法规及现场管理等也会影响连续油管排水采气工艺的适用性。气候环境方面,高温、严寒、暴雨等极端天气会影响设备运行稳定性,增加施工安全风险,如严寒地区需做好设备防冻措施,高温地区需防范油管材质老化^[3]。环保政策对废液处理有严格要求,工艺实施过程中需配套环保处理设备,确保含泡排剂的废液经沉淀、破乳、过滤处理后达标排放,避免违规成本;安全生产法规要求作业过程中落实防喷、防火、防爆措施,影响工艺方案设计。现场管理方面,设备日常维护、作业流程管控直接关系工艺可靠性,完善的管理体系能减少设备故障,降低安全风险。同时,气田的整体开发规划也会影响工艺选择,需与气田后续增产、修井等作业统筹衔接,提升整体开发效益。

3 连续油管排水采气工艺适用性分析

3.1 气井条件适应性分析

连续油管排水采气工艺对气井条件的适应需综合考量地层压力、井型、地层特性、含砂量与腐蚀性等因素。其核心适配场景为低产、低效、高含水及复杂工况气井。当地层压力低、携液能力弱,气井积液难排出致井底回压升高影响产能时,该工艺能发挥人工辅助排液优势,

通过复合泡排或物理抽排降低井底回压,恢复产能,适配性强。高压高产气井自身携液足,无需此工艺,适配性差。井型上,垂直井和中低斜度井是理想选择,施工难度低、排液效果稳;水平井和高斜度井积液分布不均、油管下入摩阻大,需优化设计与扶正器配置,适配性中等。地层特性方面,中高渗透率、岩性稳定气井适配良好;低渗透、易坍塌地层需预处理,适配受限。另外,含砂量低、腐蚀性弱气井适配优,高含砂、高腐蚀气井需升级设备与泡排剂,适配成本增加,需综合评估选用。

3.2 工艺参数优化

工艺参数优化是提升连续油管排水采气效果的关键,需针对不同气井工况精准调整,核心参数包括连续油管尺寸、下入深度、泡排剂用量及循环排量。油管尺寸需结合井径和排液需求选择,小直径油管适配浅井和低积液气井,大直径油管适配深井和高积液气井,确保排液效率与设备承载能力匹配。下入深度需根据积液界面位置确定,通常位于积液界面以下0.5-1.0米,既能充分接触积液,又避免触碰井底沉砂。泡排剂用量需依据流体粘度、乳化程度计算,结合现场试验优化浓度和注入量,过量易增加成本,不足则无法达到预期发泡降阻效果。循环排量需结合井筒容积和地层承受能力调整,排量过大易破坏地层稳定性,过小则排液效率低下,同时需同步优化作业压力,确保工艺安全高效运行。

3.3 经济效益评估

连续油管排水采气工艺的经济效益评估需从成本投入、收益提升及寿命延长三方面展开,构建量化评估体系。成本投入包括设备租赁、泡排剂消耗、人工费用、运输及环保处理成本,其中深井、复杂井的设备和施工成本显著高于浅井、常规井。收益提升主要体现为气井增产带来的销售收入,通过工艺实施可使低产气井日产量提升10%-30%,延长气井有效生产周期3-5年。同时,该工艺作业周期短,可减少气井停产损失,相较于传统排水工艺,停产损失可降低40%以上。需结合气井剩余可采储量、天然气价格等因素综合核算,当投入产出比大于1.2时,工艺具备经济可行性;对于储量较低、增产空间

有限的气井,需谨慎选用,避免成本高于收益。

3.4 技术推广价值与环境影响分析

连续油管排水采气工艺推广价值突出,体现在三方面:一是工艺创新,突破传统压井停产限制,实现带压作业与精准排水,解决复杂结构井、低产低效气井积液难题,推动技术向柔性化、智能化升级;二是开发效率,作业周期短、复产快,能快速释放气井产能,助力油气田后期稳产,提高采收率;三是技术辐射,其设备适配、参数优化等经验可迁移至连续油管酸化压裂等作业领域,优化油气井作业技术体系^[4]。在环境影响上,该工艺优势明显:作业周期短、占地小,对地表植被和土壤破坏小;带压作业减少天然气泄漏,降低温室气体排放;选用环保泡排剂,配合废液达标处理,避免土壤和水源污染,实现绿色开发。

结束语

连续油管排水采气工艺在应对气井积液、提升气井产能方面成效显著,通过对其适用性多维度分析,明确了不同气井条件下的适配策略。合理优化工艺参数可进一步提升排水采气效果,经济效益评估为工艺应用提供决策依据,技术推广价值与环境影响分析则彰显其综合价值。未来,随着连续油管材质升级、泡排剂性能优化及智能化监测技术的融合应用,该工艺有望在超深井、高腐蚀、高含砂等复杂工况气井开发中发挥更关键作用,推动油气田开发向高效、经济、绿色方向高质量发展。

参考文献

- [1]刘书炳,王定峰,刘磊,等.大位移水平井连续油管排水采气工艺研究[J].天然气与石油,2022,40(6):61-68.
- [2]沈金才,郑瑞波.连续油管电缆超声雾化排水采气技术初探[J].江汉石油职工大学学报,2025,38(1):53-55,58.
- [3]王定峰,张孝栋,罗磊,等.带压下小油管复合排水采气工艺在长北区块的应用[J].石油化工应用,2025,44(10):65-67,73.
- [4]相金元,王晓辉,邓国辉,等.增压连续气举排水采气工艺试验分析[J].内蒙古石油化工,2023,49(11):88-91,95.