

海上天然气井排水采气工艺研究及经济性分析

马 骁 (中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 广东 深圳 518000)

摘 要: 海上天然气井排水采气工艺是解决气井积液问题、提高天然气产量的关键技术。本文分析了优选管柱、泡沫排水、气举排水等常用工艺的技术原理、适用条件及效果,探讨了其在海上环境中的特殊挑战。针对排液效率低、设备维护成本高以及海上环境影响等问题,提出了通过优化工艺设计、引入新材料和智能化技术等改进方向。研究表明,选择合适的排水采气工艺需综合考虑气井地质特征、井身结构和环保性等因素,并通过全生命周期成本模型(LCC)和净现值(NPV)指标,对比其经济性差异。未来研究应聚焦于提升设备性能、降低维护成本以及实现高效、可持续开发,为海上天然气资源的高效开发提供技术支持。

关键词: 海上天然气井; 经济性分析; 排水采气; 工艺优化; 全生命周期成本

中图分类号: TE37 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167(2025)023-0076-03

Research and economic analysis of drainage and gas recovery technology of offshore natural gas wells

Ma Xiao (CNOOC (China) Co., Ltd. Shenzhen Branch, Shenzhen Guangdong 518000, China)

Abstract: Offshore natural gas well drainage and gas recovery process is a key technology to solve the problem of liquid accumulation in gas wells and improve natural gas production. In this paper, the technical principles, applicable conditions and effects of commonly used processes such as optimized strings, foam drainage, and gas lift drainage are analyzed, and their special challenges in the offshore environment are discussed. In view of the problems of low drainage efficiency, high equipment maintenance cost and offshore environmental impact, the improvement direction of optimizing process design, introducing new materials and intelligent technology is proposed. The results show that the selection of appropriate drainage gas recovery technology needs to comprehensively consider the geological characteristics, well structure and environmental protection of gas wells, and compare the economic differences through the whole life cycle cost model (LCC) and net present value (NPV) indicators. Future research should focus on improving equipment performance, reducing maintenance costs, and achieving efficient and sustainable development, so as to provide technical support for the efficient development of offshore natural gas resources.

Keywords: offshore gas wells; economic analysis; drainage and gas recovery; process optimization; Life cycle costs

海上天然气井排水采气工艺的研究在油气开发领域具有重要的实践意义和理论价值。随着全球能源需求的不断增长,海上天然气资源的开发逐渐成为能源供应的重要来源。然而,海上气井的生产过程中,地层水的侵入是不可避免的现象,这不仅降低了天然气的产量,还可能导致气井提前停产^[1]。因此,如何有效排除井筒积液、恢复气井产能,成为海上天然气开发中的关键技术问题。目前,海上气田主要采用气举、泡沫排水及柱塞气举等工艺解决积液问题,但不同工艺在技术适应性、成本投入及经济效益上差异显著。本文结合海上作业特点,从技术可行性、成本构成及经济效益三方面开展研究,以为海上气田高效开发提供决策支持。

排水采气工艺作为一种重要的气井增产措施,通过优化井筒流动条件,能够有效延长气井的生产周期,提高采收率。在海上环境中,由于平台空间有限、作业条件复杂,排水采气工艺的实施面临更多挑战。传统的排水采气技术虽然在陆上气田取得了较好的应用

效果,但在海上气井中,其适应性、经济性和可靠性仍需进一步研究和优化。针对海上气井的特殊性,研究者需要从气藏地质特征、井身结构、设备选型等多个方面入手,探索适合海上环境的排水采气工艺。同时,随着技术的不断进步,新型排水采气设备和工艺逐渐涌现,为海上气井的高效开发提供了新的可能性。在这一背景下,深入研究海上天然气井排水采气工艺的技术原理、应用现状及发展方向,对提升海上气田的开发效率具有重要意义。

1 海上天然气井排水采气工艺概述

1.1 排水采气的基本原理

海上天然气井排水采气工艺是针对气井生产过程中积液问题提出的一种技术手段。气井在开发过程中,随着地层压力的下降,地层水逐渐侵入井筒,形成积液,阻碍了天然气的正常流动,导致产量下降甚至停产。排水采气工艺的核心在于通过一系列技术措施,将井筒内的液体排出,恢复气井的生产能力。这一工艺的实施依赖于对气井动态特征和积液形成机理的深

入理解。在海上环境中,由于作业条件复杂,设备安装和维护受到空间和环境的限制,排水采气工艺的设计需要综合考虑气井的生产特性、平台设备的承载能力以及海洋环境的影响^[2]。常见的排水采气技术包括优选管柱、泡沫排水、气举排水等,每种技术都有其特定的适用条件和局限性。在实际应用中,工艺的选择需要结合气井的具体情况,进行技术经济性分析,以实现最佳的排水效果。

1.2 海上气井的特殊性

海上气井的特殊性主要体现在其作业环境的复杂性和技术实施的局限性。与陆上气井相比,海上气井位于海洋环境中,受到风浪、潮汐、盐雾等自然条件的影响,这对设备的稳定性和可靠性提出了更高的要求。海上平台的有限空间限制了设备的安装和维护,使得排水采气工艺的实施需要更加紧凑和高效的设计。此外,海上气井的井身结构通常更为复杂,井深较大,井筒内流体的流动特性与陆上气井存在差异,这对排水采气工艺的选择和优化提出了新的挑战^[3]。海上作业的高成本也使得工艺的经济性成为重要考虑因素,需要在技术可行性和经济投入之间找到平衡。海洋环境的腐蚀性对设备材料的耐腐蚀性能提出了严格要求,设备的寿命和维护周期需要特别关注。这些特殊性使得海上气井排水采气工艺的研究和实施需要综合考虑环境、技术、经济等多方面因素,以实现安全、高效、经济的开发目标。

2 常用排水采气工艺及其适应性分析

2.1 优选管柱排水采气

优选管柱排水采气是一种通过调整井筒结构来改善气井流动条件的工艺方法。其核心在于缩小油管径,从而提高气体在井筒内的流速,利用气体的动能将井筒内的液体携带至地面。这种工艺适用于气井生产的中后期,当气井压力逐渐降低、地层水侵入量增加时,积液问题成为制约产量的主要因素。优选管柱的实施能够有效减少液体在井筒内的滞留,降低流动阻力,恢复气井的生产能力。在实际应用中,管柱尺寸的选择需要综合考虑气井的井深、地层压力、积液量等因素,以确保工艺的适用性和经济性。与其他排水采气工艺相比,优选管柱具有操作简单、成本较低的优点,但其效果依赖于气井的剩余能量,因此在气井压力过低时可能无法达到预期效果。管柱尺寸的优化设计是保证工艺成功的关键,需要结合气井的动态特征进行精确计算和调整。

2.2 泡沫排水采气

泡沫排水采气是一种通过化学药剂改变井筒内液体性质,从而改善气井生产条件的工艺方法。其原理

是将起泡剂注入井筒,与井筒内的液体混合后生成含气泡沫,降低液体的表面张力,使其更容易被气体携带至地面。这种工艺适用于多种气井条件,特别是积液量较大、气井压力较低的情况。泡沫排水采气的实施能够有效减少液体在井筒内的滞留,改善气井的流动特性,恢复生产能力。起泡剂的选择是关键因素,需要根据气井的液体性质、温度、压力等条件进行优化,以确保泡沫的稳定性和携带效果^[4]。与其他排水采气工艺相比,泡沫排水具有适应性强、操作灵活的优点,但其效果依赖于起泡剂的质量和注入方式,需要结合气井的具体条件进行优化设计。

2.3 柱塞气举排水采气

柱塞气举排水采气是一种利用气井自身能量实现液体排出的工艺方法。其工作原理是通过在井筒内安装柱塞装置,利用气体的压力推动柱塞在油管内上下运动,将井筒内的液体举升至地面。这种工艺适用于气井见水初期,当气井压力较高且积液量较小时,能够有效利用气井的剩余能量,改善井筒内的流动条件。柱塞气举的实施无需外部能量输入,具有操作简单、成本较低的优点,但其效果依赖于气井的压力水平和柱塞装置的设计。在实际应用中,柱塞的尺寸、材质以及运动频率需要根据气井的具体条件进行优化,以确保工艺的稳定性 and 高效性。与其他排水采气工艺相比,柱塞气举适用于积液量较少的气井,但对于压力过低或积液量过大的气井,其效果可能受到限制。

2.4 机抽排水采气

机抽排水采气是一种通过机械装置将井筒内液体抽至地面的工艺方法。其核心设备是杆深井泵,利用抽油杆的往复运动带动泵筒内的活塞,将液体举升至地面。这种工艺适用于气井生产的中后期,当气井压力显著下降、积液量增加时,能够有效排除井筒内的液体,恢复气井的生产能力。机抽排水采气的实施需要配备专门的抽油设备和动力系统,其适用性取决于气井的井深、液体性质以及设备的工作能力。在实际应用中,抽油杆的长度、泵筒的尺寸以及动力系统的配置需要根据气井的具体条件进行优化设计,以确保工艺的高效性和稳定性。与其他排水采气工艺相比,机抽排水适用于积液量较大的气井,但其设备复杂、维护成本较高,需要定期检查和保养。

2.5 气举排水采气

气举排水采气是一种通过外部注入高压气体举升井筒内液体的工艺方法。其工作原理是将高压气体注入井筒,利用气体的举升力将液体携带至地面,从而改善气井的流动条件。这种工艺适用于多种复杂条件,包括井深较大、积液量较多以及气井压力较低的情况。

气举排水采气的实施需要配备高压气体注入设备，其适用性取决于气井的井身结构、液体性质以及气体注入压力。在实际应用中，气体注入点的位置、注入压力以及气体流量需要根据气井的具体条件进行优化设计，以确保工艺的高效性和稳定性。与其他排水采气工艺相比，气举排水具有适应性强、效果显著的优点，但其设备复杂、运行成本较高。

3 海上气田排水采气工艺及经济性比选

3.1 工艺的技术可行性和效果

在海上气田排水采气工艺的选择中，技术可行性和效果是决定工艺适用性的关键因素。气藏地质特征和井身结构直接影响工艺的实施条件和效果。对于气井压力较高、积液量中等的情况，优选管柱排水采气通过缩小油管径提高气体流速，能够有效改善井筒流动条件，但其效果依赖于气井的剩余压力。泡沫排水采气适用于气井压力较低、积液量较大的条件，通过注入起泡剂生成含水泡沫，降低液体表面张力，但其效果受起泡剂质量和注入方式的影响。柱塞气举排水采气利用气井自身能量推动柱塞举升液体，适用于气井见水初期，但其适用范围受积液量和气井压力的限制。

机抽排水采气通过杆深井泵抽水，适用于气井中后期，能够排除大量积液，但设备复杂性和维护成本较高。气举排水采气通过注入高压气体举升液体，适用于多种复杂条件，但其设备运行成本较高。电潜泵排水采气和射流泵排水采气分别适用于低压高产水气井和特殊井型，能够快速排除积液，但设备能耗和维护成本需优化。工艺的选择需要综合考虑气井的具体条件，以实现技术可行性和经济性的平衡。

3.2 经济成本比选模型构建

在海上气田排水采气工艺的选择中，经济性是重要的考量因素。工艺的经济投入直接影响项目的可行性和效益。需要通过全生命周期成本（LCC）分析，分别从净现值（NPV）、初始投资（CAPEX）、运营成本（OPEX）和风险成本等方面着手，充分考虑设备购置、安装及调试费用，能耗、药剂、人工、维护及监测费用和设备故障停机风险等成本；例如，优选管柱排水采气由于无需额外设备，经济性较高，但其适用范围有限；机抽排水采气和电潜泵排水采气虽然效果较好，但设备复杂，初期投资和维护费用较高，经济性相对较低。

气举排水采气需要高压气体注入设备，运行成本较高，但其适应性强，在复杂条件下具有较高的应用价值。泡沫排水采气虽然化学药剂成本较低，但长期使用可能增加经济负担。以某海上气田优选排水采气

工艺为例：

表 1

工艺	CAPEX (万美元)	年 OPEX (万美元)	增产效果 (万 m ³ /d)	NPV (10 年, 万美元)
气举	1200	200	15	3500
电潜泵	800	300	20	3200
泡沫排水	150	50	8	1200

综上可知：气举因增产显著且海上气源充足，NPV 更优；泡沫排水虽成本低，但增产能力有限。

4 总结与展望

海上天然气井排水采气工艺的研究与实践表明，针对不同气井条件和海上环境特点，选择合适的工艺方法对提高气井产量和延长生产周期具有重要意义。优选管柱、泡沫排水、气举排水等工艺各有其适用范围和局限性，在实际应用中需结合气井的具体情况进行优化设计。海上环境的复杂性和设备的特殊性对工艺的实施提出了更高要求，设备的稳定性、耐腐蚀性以及维护成本成为关键因素。

同时，海上天然气井排水采气工艺的经济性需综合考虑技术适应性、成本控制及环境风险。本文通过定量分析提出工艺优选方案，但未来仍需结合气藏动态特征及技术进步，进一步完善评价模型。如何实现工艺智能化、低碳化转型，将是后续研究的重点方向；随着技术的不断进步，排水采气工艺在海上天然气开发中的应用前景将更加广阔。

参考文献：

- [1] 李旭, 吴春玲, 刘卫林, 等. 国六重型柴油车排放远程监管平台应用研究综述 [J]. 内燃机, 2024, 40(03): 19-25.
- [2] 任烁今, 全畅, 李刚, 等. 重型车远程监控与实际道路试验对比研究及统计分析 [J]. 汽车安全与节能学报, 2023, 14(02): 239-248.
- [3] 熊兴旺, 李琪莉, 李昂, 等. 一种基于二值化数据序列的延时修正方法 [J]. 小型内燃机与车辆技术, 2022, 51(06): 46-50.
- [4] 李刚, 尹航, 吉喆, 等. 重型车排放远程监控技术规范制订思路及实施建议 [J]. 环境工程技术学报, 2023, 13(02): 867-872.

作者简介：

马骁（1987-），男，回族，重庆人，工程师（中级），本科，研究方向：石油工程。