

气水交替驱油参数优化及其经济性研究

燕章华（胜利油田东方实业投资集团有限责任公司，山东 东营 257000）

摘要：气水交替驱技术是一种提高油藏采收率的有效方法，本文探讨了气水交替驱油过程中关键参数的优化方法，并分析了其对油田经济性的影响。研究表明，合理优化气水比、注入压力、注入速率等参数，不仅能够提升采收率，还能有效降低开发成本、提升操作稳定性，并在确保风险可控的前提下，实现油田的持续增产。通过多目标协同优化、动态优化以及试点案例驱动策略等综合优化手段，能够进一步提升油田开发的经济效益和可持续发展潜力。

关键词：气水交替驱油；参数优化；经济性；采收率

中图分类号：TE357 **文献标识码：**A **文章编号：**1674-5167（2025）017-0069-03

Research on Parameter Optimization for Gas-Water Alternating Flooding and Its Economic Efficiency

Yan Zhanghua (Shengli Oilfield Dongfang Industrial Investment Group Co., Ltd., Dongying Shandong 257000, China)

Abstract: Gas-water alternating flooding (WAG) is an effective method to enhance oil reservoir recovery. This study explores the optimization of key parameters in WAG processes and analyzes their impact on the economic efficiency of oilfield development. Research indicates that rational optimization of parameters such as gas-water ratio, injection pressure, and injection rate can not only improve recovery rates but also reduce development costs, enhance operational stability, and achieve sustainable production increases under controlled risks. Through comprehensive strategies—including multi-objective collaborative optimization, dynamic optimization, and pilot case-driven approaches—the economic benefits and sustainable development potential of oilfield development can be further elevated.

Keywords: Gas-water alternating flooding; Parameter optimization; Economic efficiency; Oil recovery

气水交替驱（Water-Alternating-Gas, WAG）是一种通过交替注入气体和水以改善油藏采收率的关键技术，尤其适用于低渗透、高含水或特高含水油藏。在常规水驱技术逐渐遭遇效果瓶颈的背景下，气水交替驱凭借其将气体驱替效应与水驱宏观波及效应相结合的特点，通过注气时改善油层的微观驱替效果，以及注水时扩大驱油波及范围，气水交替驱油能够更有效地利用油藏资源，显著提升采收率^[1]。然而，气水交替驱油的技术实施中，关键参数如气水比、注入压力、注入速率等需要根据油藏的特性进行精确调控。科学优化这些参数，不仅可以提高采收率，还能够降低开发成本、提高操作稳定性，进而实现油田的效益最大化。因此，如何通过有效的参数优化策略来提升油田的经济效益，成为气水交替驱油技术研究的重要方向。

1 气水交替驱油参数优化方法

1.1 需要优化的关键参数类型

①气水比：气水比是气水交替驱油中的关键参数之一，其直接影响到气体和水的驱替效果。合理的气水比不仅能够增强气体的驱替效应，还能改善水的宏观波及效应，从而提高油藏的采收率^[2]。然而，气水比过高或过低都会影响驱替效果，甚至导致气水失衡

或注入效率低下。因此，优化气水比的具体数值，并根据油藏特性进行动态调整，是提高气水交替驱油效率的核心。

②注入压力：注入压力影响气水交替驱油的驱替效果和操作稳定性。适当的注入压力有助于气体和水的有效注入及油藏中的流动性增强，但过高的注入压力可能导致油藏发生压裂，造成不必要的损失。另一方面，注入压力过低则可能导致气体和水不能有效推动油藏中的原油，降低采收率。因此，优化注入压力并根据油藏的不同情况进行合理调整，是提高采收率和保证操作稳定性的关键。

③注入速率：注入速率同样是影响气水交替驱油效果的重要因素。注入速率过快，可能导致气体和水在油层中分布不均匀，进而影响驱油效率；而注入速率过慢，则可能导致开发效率低下，增加运营成本。因此，合理设置注入速率，不仅有助于提高气体和水的覆盖面积，还能确保驱油过程的均匀性，进而提升整体采收率。

④井间距与注采配合：井间距和注采配合是优化气水交替驱油过程中必须考虑的因素。合理的井间距能够确保气水在油藏中的有效分布，避免气体和水的

过度集中或不足扩展,从而提高驱替效果。注采配合也需要根据油藏的特性进行优化,确保注水与采油的节奏相匹配,以避免注入过快或过慢造成的资源浪费。因此,优化井间距与注采配合,能够更好地提升气水交替驱油的整体效果和效率。

1.2 传统参数优化方法

①经验公式法:经验公式法是基于历史数据和实际生产经验,针对特定的油藏条件得出的参数优化公式。这种方法简单易行,能够为实际操作提供快速的参考,但其缺乏对油藏动态变化的精准预测,且容易受到经验的主观性影响。由于每个油藏的特性不同,经验公式法的适用性有限,尤其在面对复杂油藏或非常规开发条件时,效果往往不理想。

②试验法:试验法的本质是通过一个个的实际注入试验来确定最佳的气水比、注入压力等参数。这种方法较为直观,能够根据试验结果调整参数,以达到优化效果。然而,试验法的实施成本较高,且需要大量的现场实验数据支持,且试验过程中可能会受到现场环境和设备条件的限制^[3]。因此,尽管试验法能提供有价值的优化数据,但其时间和成本投入较大,且对油藏特性变化的适应性较差。

③单一因素法:单一因素法是通过逐一调整某一参数(如气水比、注入压力等),分析其对采收率的影响,从而寻找最佳操作参数。这种方法的优点是操作简单,便于实施,但它忽视了参数之间的相互作用,往往无法全面评估优化效果。由于气水交替驱油系统是一个多变量系统,单一因素法在实际应用中容易导致片面性结果,因此对优化效果的预测不够准确。

1.3 现代化参数优化方法

1.3.1 数值模拟优化法

在气水交替驱油技术中,数值模拟优化法被广泛应用于研究油藏的流动规律和优化操作参数。该方法首先通过建立油藏的数学模型,结合地质、流体和力学等多个物理过程,精确描述气水交替驱油过程中的多相流动。这些模型通常采用分区和层次化的结构,能够考虑油藏的非均质性、各层渗透差异以及气水的相互作用,为不同的操作参数(如气水比、注入压力和注入速率)提供敏感性分析和优化建议^[4]。然而,数值模拟法的应用并非没有挑战。首先,建立一个高精度的油藏模型需要大量的前期数据,包括地质特征、流体属性和井筒条件等,这对数据采集的全面性和准确性提出了极高要求。其次,模拟过程的计算复杂度较高,特别是在多层、多相、多井的情况下,计算资源的需求极大,可能导致模拟时间较长,且高昂的成本也限制了其在一些情况下的广泛应用。尽管如此,

数值模拟优化法仍然是气水交替驱油领域中最重要的一项技术之一,特别是在面对复杂油藏时,其精确性和定制化能力使其具备无可比拟的优势。

1.3.2 机器学习与数据挖掘技术

在缺乏详细物理模型或实时油藏数据无法获取的情形下,机器学习与数据挖掘技术可以通过对历史生产数据的深入分析,识别参数之间的复杂关系,并利用数据驱动的方式进行预测和优化,从而为实际操作提供决策支持。机器学习算法(如回归分析、决策树、支持向量机、神经网络等)能够从大量历史数据中识别出变量间的非线性关系,帮助研究人员预测不同操作条件下的采收率变化。这些模型能够有效模拟油藏的动态行为,在不同气水比、注入速率和注入压力的条件下,预测采收率的表现。然而,机器学习与数据挖掘的准确性高度依赖于数据的质量与数量。若数据不完整或包含噪声,模型的预测结果可能出现偏差。此外,机器学习算法的“黑箱”特性使得优化结果缺乏可解释性,无法直观地解释其内在机制,因此需要结合专家经验对模型进行校正和验证。

1.3.3 优化算法

在气水交替驱油过程中,优化算法具备强大的全局搜索能力,可以通过数学建模与求解技术,帮助研究人员在多维参数空间中找到最优解,同时考虑到多个目标(如采收率、成本、操作稳定性等)之间的相互关系和权衡。常见的优化算法包括遗传算法、粒子群优化算法、模拟退火算法等。与传统的经验公式法和单一因素优化法相比,优化算法能够同时考虑多个因素的协同效应,尤其适用于复杂的非线性优化问题。然而,这些算法也面临一定的局限性。某些算法可能容易陷入局部最优解,尤其是在参数空间较复杂或搜索不充分时。因此,为了确保找到全局最优解,通常需要多次实验和对算法进行调整,以提高结果的稳定性和准确性。

1.4 指向结果的综合优化策略

1.4.1 多目标协同优化策略

气水交替驱油过程中,往往需要同时考虑多个优化目标,如最大化采收率、降低开发成本、提高操作稳定性等。多目标协同优化策略通过建立综合目标函数来解决这些目标间的权衡问题。不同目标之间的相互约束和优先级差异要求优化过程中采用算法对多种目标进行协调处理,避免因单一目标的优化导致其他方面的资源浪费或操作风险。例如,采收率与成本之间的关系,往往存在反向影响,因此需要在优化过程中引入如 Pareto 最优解、加权目标法等多目标优化算法来综合考虑这些因素。该策略使得资源配置更为高

效,并有效避免过度投资,能够确保油田开发过程中的各类资源最优分配,从而提升油田的经济效益,并支撑油田的长期可持续发展。

1.4.2 动态优化策略

油藏开发是一个具有高度动态性的过程,随着开采进程的推进,油藏的物理特性、流体性质以及生产状态会发生逐步变化,导致初始设定的操作参数逐渐不再适用。因此,静态参数优化方法无法满足开发长期需求。动态优化策略正是在这种背景下应运而生,其核心在于依托实时监测系统获取油藏状态数据,并结合数值模拟与优化算法,动态调整操作参数。实时采集的数据包括但不限于油藏压力、流体饱和度、温度等,通过这些数据可以精确掌握油藏的即时状态。动态优化不仅能够调整气水比和注入速率,还能够根据实时变化调整注气压力和周期等参数,以便适应油藏开发过程中不断变化的条件。此策略具有高度的灵活性,能够避免静态设定参数带来的低效运行,同时提高油田的资源利用率和采收率,降低开发过程中的经济风险。

1.4.3 试点案例驱动优化策略

每个油藏的地质结构和流体特性具有独特性,因此,基于理论模型和历史数据的优化方案在实际应用中可能出现偏差。为了减少由于理论和实际不符带来的风险,试点案例驱动的优化策略成为了重要的实践手段。该策略与传统的试验法有一定的类似之处,但不同的是,试点案例驱动策略需要选择具有代表性的油藏区域进行小规模试点测试,不是单纯靠实验室的试验来决定具体的方法,而且,试点案例驱动策略需要以各种综合的参数优化方法为基础形成的方法体系来进行试点操作,验证不同操作条件下的优化效果,而非试验法的单一参数调整试验过程。在试点过程中,研究人员通过数值模拟结合现场实验数据,逐步优化气水比、注气周期、注水速率、注入压力等关键参数,从而实现更加精准的操作控制。试点案例能够为优化方案提供一手的现场数据反馈,这些数据将为后期全油田范围的优化决策提供有力支持。同时,试点阶段的实施成本较低,可以在全规模推广之前识别潜在问题,降低因模型偏差或数据不足而产生的实施风险,从而确保优化方案能够成功应用到整个油田开发中。

2 气水交替驱油参数优化的经济性

2.1 成本效益影响

气水交替驱油技术的优化对油田经济效益的提升至关重要,特别是在降低开发成本方面。精细化调整气水比、注入压力和注入速率等关键参数,能够大幅提升资源利用效率,减少能源消耗以及开采过程中不

必要的费用。此外,优化注入方案还能够降低设备故障率,缩短停产时间,进一步减少运营和维护成本。这种成本的降低不仅直接提升了油田的经济效益,也为油田的长期稳定开发提供了保障,有助于延长油田的开发周期,并确保经济效益的持续增长。

2.2 风险效益变化

优化后的气水交替驱油参数对减少开发过程中的各类风险起到了至关重要的作用。通过精确调整气水比、注入压力等关键参数,可以有效避免由于不合理设置导致的油藏损失和设备故障。随着动态优化和多目标协同优化策略的引入,开发过程中对油藏变化的实时响应能力得到显著提高,从而有效保障了操作的稳定性。应对不可预见因素时的灵活性,确保了在最大化采收率的同时,有效控制潜在的风险,进而提升整体风险效益比。

2.3 长期效益影响

气水交替驱油技术的经济性不仅体现在短期的成本节约,更在于其对油田可持续发展的贡献。优化的注入方案通过延长油田的生产周期,增加采收率,避免了低效开发带来的资源浪费。随着油藏开采的深入,油藏特性和生产状况的变化使得动态优化显得尤为重要,实时调整操作参数能保持高效运行,避免因参数不适应导致的开发效率低下。最终,优化方案不仅提升了油田的产能,还延长了有效生产期,从而显著增强油田的长期经济效益和可持续发展潜力。

3 结束语

深入探讨气水交替驱油参数优化的关键技术及其对油田经济性的影响,对油田深度开发具有重要的经济意义。通过优化气水比、注入压力和注入速率等参数,不仅可以提高油藏的采收率,还可以有效降低开发成本和运行风险,为油田的长期可持续发展提供强有力的支持。因此,进一步深化气水交替驱油技术的研究与实践,将为油田开发遇到的技术难题提供更为科学、高效的解决方案。

参考文献:

- [1] 郭红强,杜敏,姚健,王振宇,张金元,刘海伟.延长低渗透油藏 CO₂ 驱油参数优化数值模拟研究[J].非常规油气,2024,11(01):78-84.
- [2] 雷欣慧,郑自刚,余光明,张康.特低渗油藏水驱后二氧化碳气水交替驱见效特征[J].特种油气藏,2020,27(05):113-117.
- [3] 黄琪,曾顺鹏,熊川洪,杜庭俊,何静,刘聪.致密油藏 CO₂ 驱工艺参数优化试验研究[J].中国石油和化工标准与质量,2019,39(18):181-182.