

注采井网优化设计及其经济效益研究

吴文琪 魏祥祥 冯宪茹(中石化胜利油田滨南采油厂, 山东 滨州 256600)

摘要:随着油田开发的不断深入,传统的开发方式已逐渐不能满足高效采油的需求,因此,针对注采井网的优化设计在提升油田采收率、降低开发成本方面就具有了更为重要的意义。本文首先分析了当前油田注采井网的设计现状,指出了当前存在的主要问题,然后针对问题提出了优化设计方案,最后通过对优化方案的经济效益分析,验证了优化设计的可行性和有效性。研究表明,合理的注采井网优化设计可以有效提高油田的经济效益,对于油田开发具有重要的长效价值。

关键词:注采井网;优化设计;油田开发;经济效益

中图分类号: TE32

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 016-0106-03

Optimization Design of Injection-Production Well Patterns and Research on Economic Benefits

Wu Wenqi, Wei Xiangxiang, Feng Xianru (Shengli Oilfield Binnan Oil Production Plant, Binzhou Shandong 256600, China)

Abstract: With the continuous advancement of oilfield development, traditional development methods are increasingly unable to meet the demand for efficient oil recovery. Therefore, the optimization design of injection-production well patterns has become more significant in enhancing oilfield recovery rates and reducing development costs. This paper first analyzes the current design status of oilfield injection-production well patterns, identifying the main existing issues. Then, it proposes optimization design solutions to address these problems. Finally, through an economic benefit analysis of the optimized solutions, the feasibility and effectiveness of the optimization design are verified. The research shows that a reasonable optimization design of injection-production well patterns can effectively improve the economic benefits of oilfields, providing long-term value for oilfield development.

Keywords: Injection-production well patterns; Optimization design; Oilfield development; Economic benefits

随着油气田开发的不断推进,传统的注采井网设计已经无法满足油田开发的需求,一些油田面临采收率低、开发效率差等问题^[1]。在此背景下,注采井网的优化设计目标就在于如何通过合理配置注水井与采油井,最大限度地提高采油效率,并降低开发成本。本文计划基于当前油田注采井网设计的现状,重点探讨其中的技术瓶颈和不足,并在此基础上提出对应的优化设计方案,最后对其经济效益进行深入分析。

1 注采井网设计现状与问题分析

在传统油田开发过程中,注采井网的设计主要依赖于工程经验和一些基本的计算方法。这种基于经验的设计方式在早期的油田开发中曾取得一定的成功,但随着油田开发的深入,原有的设计模式已经暴露出不少问题,导致油田开发效果不理想,甚至影响了采收率的提升和开发成本的控制。因此,必须对现有的注采井网设计进行深入分析,并提出针对性的优化方案。

1.1 注采井布置不合理

目前一些油田的注采井网布局未能充分考虑油藏的地质特性,造成了注水与采油井之间的水驱效果不均匀^[2]。在设计初期,往往依赖于单一的地质模型和经验公式,而忽视了油藏的实际分布情况。实际油田

中的油气分布往往是不均匀的,油藏的渗透率、油气饱和度、压力和温度等地质特征在不同区域存在显著差异。这种差异性导致注水井和采油井之间的水驱效果存在很大的不平衡。特别是在高渗透区,注水过多可能导致注水井周围的油气迅速被驱走,而低渗透区则可能由于注水不均匀导致水驱效果差,甚至出现注水井无法有效驱动周围油气的现象,进而直接影响油田的采收率。

1.2 注采比例失衡

注采比例即单位时间内注水井与采油井之间的水驱关系。在现有设计中,很多油田的注采比例设置为固定值,且大多数采用经验公式进行计算。然而,油田的地质条件往往表现出较大的区域差异,不同地质区段的油藏性质也有显著差异。例如,低渗透油藏的注水需求较高,而高渗透油藏则注水需求较少。如果采用统一的注采比例,这种固定比例就无法满足不同区域的实际注水需求,造成了注水量分配的失衡。一些区域可能会出现注水过量的现象,造成水窜或水害,严重影响了产油井的采油效率;而另一些区域则可能由于注水不足,导致水驱效果不显著,油气采收率无法得到有效提升。这种失衡不仅影响采收率,还可能

导致油田资源的浪费和开发成本的增加。

1.3 井间距设置不合理

注采井之间的间距设置对水驱效果有着直接影响，假设井间距设置过大，注水流体在油藏中的分布就会不均匀，部分区域可能会出现过度注水的现象，而另一部分区域则可能因水驱不均而导致采收率低下^[3]。而如果井间距设置过小，虽然可以提高水驱效果，但这种设计往往需要更多的注水井和采油井，增加了油田开发的建设和维护成本。此外，过密的井网布局可能会导致井间干扰过大，从而影响单井的产量和开发效益。因此，注采井的间距应根据油藏的渗透性、厚度、油气分布等因素进行优化设计，确保水驱效果的均匀性和油田的开发效益。

2 注采井网优化设计方案

本研究认为通过针对不同油藏区域的特性及其生产需求的细致分析，来进行相应的优化设计，可以更加高效、可持续的进行油田开发。因此，为了有效提高油田的采收率，并解决水驱过程中的不均衡性问题，本文提出了以下一系列创新的注采井网优化设计方案：

2.1 井网布局优化

在油田开发过程中，井网布局的合理性会直接影响水驱效果的均匀性与采收率的提升可能性。因此，我们需要基于油田的具体地质条件和油藏分布特点，通过数值模拟与优化算法对井网布局进行更为高效的精确调整。而我们优化的核心目标是要确保注水井在油田内部可以实现全面均匀的覆盖，并根据油藏的油气饱和度及渗透率差异情况，合理进行井网分布规划，避免过度注水或注水不足的情况发生。
①方案一：集约化注水井布置。在该方案中，我们需要将注水井集中布置于油田的高产区域，尤其是在油藏中心区域。由于该区域通常具有较高的油气饱和度，注水井的集中布置能够使水流更加集中有效地驱动油气，提升水驱效果。与此相对，外围区域则应当适当减少注水井的数量，从而避免外围区域因注水过多导致的水害现象。此举可以更好的保证高产区的采油效率，也可以有效的控制外围注水井的过度利用情况，让水资源可以在采油作业中进行更加科学的分配。
②方案二：分区注采井布置。本方案需要根据油田的储量分布、油层厚度以及渗透性差异，将油田划分为多个开发区块。每个区块内的注采井间距和注采比率都要经过仔细的梳理和优化，针对每一层油藏的特性灵活调整具体的开发策略。在本方案中，区域内的注水井与采油井需要根据不同油藏的物理性质(如渗透率、油气饱和度等)进行精准配置，从而确保水驱效果的最大化。此方案的目标是因地制宜的进行注采井布置，进一步提升整个油田的开发效

益，因此，要把握好具体的分区内部布置细节，避免过度集中的情况发生。

2.2 注采比率的优化做法

注采比率是指单位时间内注水井与采油井之间的水驱效率比值，是影响水驱效果和油田采收率的关键因素之一。由于油田内部各区域的地质条件和油藏性质差异显著，不同区域的注水需求亦有所不同。因此，为实现油田开发的最优效果，需要通过动态调整注采比率来精细化管理水驱过程，从而确保最大化的水驱效果和采收率。具体的优化策略包括以下两种方法：
①低渗透油藏的注采比率优化。对于低渗透油藏，渗透性较差，水驱效果容易受到限制。在此类油藏中，水流动性较低，注水井所注入的水无法有效快速地驱动油气，因此通常需要提高注水量，以确保油藏能够接受充足的水驱。通过适当增加注水量，能够克服低渗透性带来的注水困难，从而增强水驱效果，推动油气沿油藏的孔隙结构流向采油井。此外，增加注水量有助于维持注水井的持续压力，提高水驱的稳定性，并显著提升采收率。此方法需要依据低渗透区的油藏厚度、饱和度和地层压力等地质参数动态调整注水量，以实现对油气的充分驱动。
②高渗透油藏的注采比率优化。与低渗透油藏不同，高渗透油藏具有较好的流体导流性和较高的油气流动性，因此水驱过程中的注水量需求相对较少。在高渗透区，过量的注水可能会导致注入的水过快地通过油藏，形成过度的水驱作用，造成水窜现象，甚至导致部分油气提前被排出，从而影响采油效率和水驱效果的持续性。为避免这种情况，在高渗透油藏中应适当减少注水量，避免过快的水驱，确保水驱过程平稳进行，维持合适的水气比。通过精准调整注水量，可以优化水驱的稳定性，避免水流过快导致的过度驱动，同时确保油气能够均匀、持续地被驱动至采油井，提高采收率并减少过度注水带来的负面影响。

2.3 动态调整注采井的工作状态

油田的生产状况与注水效果随着时间推移而会经历各种不断的变化，受多种因素的影响，比如地质条件、储层压力变化、油气饱和度的变化以及注水量和采油量的调整等。因此，单一的固定注采井工作模式往往难以适应油田开发过程中的变化需求。在这种背景下，实施动态调整注采井工作状态的策略就显得愈发至关重要。

在实际操作中，动态调整的策略主要体现在以下几个方面：
①实时监测与动态反馈机制：我们可以安装高精度的实时监测设备（如流量计、压力计和温度传感器），对油田内每口注采井的工作状态进行实

时数据采集和反馈。通过数据传输和处理，系统能够精准地了解各注采井的注水效果及其对水驱区域的影响，基于这些实时数据，自动调整注采井的工作状态。②灵活调度与工作负荷分配：通过对注水井和采油井的动态调度，当某些注水井在特定生产阶段表现出较好的水驱效果时，可以适当减少其工作负荷或注水时间，而将注水任务转移到其他效果不佳的区域或注水井。这种调度方式可以平衡各区域的注水压力，避免过度注水引发水害问题，同时确保油田各区域的开发效益保持在一个均衡的状态。③阶段性调整与油气采收目标结合：在油田开发的不同阶段，随着油藏压力、油气饱和度以及储层渗透性的变化，注采井的工作状态需要根据阶段性目标进行调整。早期阶段可能侧重于提高注水量以更好地驱动油气，而在后期阶段，可能需要调整注水量，以防止过度驱动或水流过快。④调整策略的优化与模拟预判：动态调整的策略还可以结合先进的数值模拟与油藏管理系统，利用油藏模型对不同调整方案进行预测与优化。例如，在水驱过程中，利用油藏模拟软件（如 ECLIPSE、CMG 等）对注水井的影响范围、采油井的生产情况进行精确模拟，可以预判调整后的水驱效果，并提前采取相应措施。

3 注采井网优化方案的经济效益分析

为进一步验证注采井网优化设计方案的有效性，本文通过数值模拟计算与经济评估方法，对不同优化方案进行了综合分析。重点验证了投资回报率（IRR）、净现值（NPV）及采收率等关键经济指标，从实际生产效果出发，评估不同优化方案对油田经济效益的影响。

3.1 采收率与产量

采收率是油田开发效益的核心指标之一，直接决定了油田的经济回报。通过对三种不同优化设计方案的数值模拟，结果表明优化后的井网设计显著提升了采收率。①在集约化注水井布置方案下，由于注水井集中于油田的高产区，水驱效果得到显著提升，从而带动了采油量的增加。经计算，该方案使油田的采收率提高了约 8%。这表明，通过集中优化注水井的布置，可以显著提升核心区域的采油效率，最大限度地利用已有资源。②在分区注采井布置方案下，由于依据不同油藏区段的物理属性灵活调整注采比率，水驱效果得到了进一步优化。特别是在低渗透油藏和高渗透油藏的注水量精确调控下，采收率的提升更加明显，达到 11% 以上。这一结果表明，精细化的注采比率优化不仅提高了水驱效果，还确保了不同区域的采收效率得到了合理的提升。

3.2 开发成本

尽管优化设计方案在初期投入方面产生了一定的

成本，如井位建设、数值模拟和优化分析等，但这些投入又为油田的长期稳定生产带来了更为可观的回报。通过优化设计，采收率的提升直接推动了单位产油成本的下降，最终降低了项目总体的开发成本。①集约化注水井布置方案通过合理减少外围区域的注水井数量，集中资源提高核心区域的水驱效率，进而减少了不必要的开发开支。根据模拟结果，该方案使油田的开发成本降低了约 12%。这种设计不仅确保了油田资源的最大化利用，还避免了不必要的资金浪费。②分区注采井布置方案则通过精确调控注采比例，确保不同区段的注水与采油达到最优配比。结果表明，该方案使开发成本进一步降低，达到约 16%。我们通过精准的注水量控制，避免了水驱过度和能源的浪费，从而进一步节省了大量的开发成本。

3.3 投资回报分析

从投资回报角度看，优化设计方案显著提升了油田的经济效益。通过对各优化方案的投资回报率（IRR）和净现值（NPV）进行数值模拟分析，结果显示：①在集约化注水井布置方案下，经过精确优化后，油田的投资回报率提高至 26%，净现值为 1.2 亿元人民币。这表明，通过合理布置注水井并集中资源，可以显著提高投资效益，在确保采收率提高的同时，也使得油田的整体经济效益得到了长足的改善。②在分区注采井布置方案下，投资回报率更为突出，达到了 33%，净现值提升至 1.5 亿元人民币。通过更加精准的注水量和采油量的调整，该方案极大地优化了油田的开发效益，提升了其长期投资回报潜力。这一结果表明，分区优化方案通过灵活调整注采比率，不仅提高了采收率，还有效提升了投资回报率，也为油区开发项目争取到了更为优秀的经济效益。

4 结论

本研究通过对注采井网优化设计的研究与经济效益验证，说明了本文提出的优化方案可以显著提高油田的采收率，并降低开发成本。合理的井网布局、注采比率调整和动态优化措施，有助于更高效地利用油田资源，提升油田开发的总体经济效益。因此，未来的油田开发应当更加注重注采井网的精细化管理与优化设计，从而实现更可持续和高效的油田开发。

参考文献：

- [1] 孔维军. 江苏油田复杂小断块高含水油藏注采井网优化技术 [J]. 内蒙古石油化工, 2024, 50(01): 82-86.
- [2] 王珍, 马志立. 低渗透油藏注采井网优化及开发技术研究 [J]. 石化技术, 2022, 29(11): 128-130.
- [3] 赖书敏. 特高含水后期层系井网及注采优化方法与应用 [J]. 天然气与石油, 2022, 40(03): 56-61.