

水驱开发过程中提高采油效率的技术及其经济效益分析

葛立武 吴昊洋 刘婉清 杨国良 苗 鑫

(中国石化胜利油田河口采油厂, 山东 东营 257200)

摘要: 本文旨在探索水驱开发过程中提高采油效率的技术及其经济效益, 文中分析了水驱开发技术的原理与传统水驱开发技术常见问题, 针对具体问题, 本文介绍了水驱开发过程中五种可以提高采油效率的优化技术及其应用过程。由此, 本文进一步分析了优化技术所带来的经济效益, 包括提高采油效率、节省能源和水源、延长油田寿命、降低对环境的影响、推动可持续发展等。

关键词: 水驱开发; 提高采油效率; 技术创新; 经济效益

0 引言

全球能源需求的持续增长给油气资源的开发带来了越来越严峻的挑战, 水驱开发作为一种重要的可以有效增强石油采收率的开采技术, 其在提高油田产量和经济效益方面具有重要的研究意义。然而, 传统的水驱技术在实施过程中仍存在许多技术难题, 如采油效率低、能源浪费大等问题, 会在一定程度上限制了其在复杂油藏中的应用效果。为了提高水驱开发的采油效率, 近年来, 许多新技术和方法也逐渐得到了相应的实践和应用, 这些技术在优化水驱开发过程中均起到了积极的推动作用。

1 水驱开发技术概述

水驱开发技术是石油开采中常见的一种提高采油率的技术, 简单来说, 就是通过向地下油藏注入水, 来增加原油的采收量。它的核心原理就是通过水的推动作用, 让地下的原油顺着一定的路径流向生产井, 从而提高油田的产量。特别是在一些渗透性较差的油藏中, 水驱技术能有效提高油田的采油率, 并且延长油田的开采周期^[1]。

水驱技术的发展可以追溯到 20 世纪初, 最早在石油开采的初期就有了水驱的概念。最开始的水驱技术比较简单, 主要通过注水来促进原油的采收。随着石油工业的快速发展, 人们对油藏的了解也逐渐深入, 水驱技术也在不断进步和完善。到了 20 世纪 30 年代, 美国就已经可以成功地在一些油田应用水驱技术了, 也取得了非常显著的采油效果, 后来也逐步推动了全球范围内水驱技术的普及。

水驱开发技术的基本原理其实不复杂: 从本质来看, 水驱技术就是通过注水将原油从地下储层中推出采油。水体的流动性强, 通过注入水可以在油藏中形成

一个推动的“水驱前沿”, 把油从油层中推向生产井。水和油之间的物理差异, 比如水比油轻, 流动性好, 油藏的渗透性等, 都会影响水驱的效果^[2]。水驱的成败关键就在于水和油的驱替作用, 它直接关系到注水量、注水的方式以及油藏本身的条件。随着科技的进步, 水驱技术的应用范围越来越广, 不仅在传统的常规油田中应用, 还能在一些复杂的油藏中取得一定的效果。总的来说, 水驱技术是提高油田采收率、延长油田生命周期的重要手段, 它对石油产业的经济效益和可持续发展具有不可忽视的作用。

2 传统水驱开发技术常见问题分析

2.1 水驱效率低, 采油效果差

在实际的水驱开发过程中, 很多油田出现了水驱效率不高的问题, 导致采油效果远远达不到预期。究其原因, 主要还是油藏的复杂性, 特别是油藏的渗透性和孔隙结构不均匀, 水流无法均匀渗透到油层等问题, 导致水驱的前沿无法稳定形成^[3]。水驱效果差, 油层的原油就无法被有效推动到生产井, 这就导致采油效率低。再加上水和油的密度差异, 有时水注入得太快, 原油还没来得及被推动, 就被水层绕过了, 从而降低了水驱的整体效率。

2.2 水窜现象严重

水窜现象也是传统水驱技术中的常见问题。简单来说, 就是注入的水在地下的流动失控, 绕过了富含原油的区域, 直接流向生产井。这种情况通常是由油藏的渗透性不均, 水更容易通过渗透性好的通道流动, 导致注入的水无法有效地推动原油, 而是流到了其他不含油的地方, 浪费了水源, 也影响了采油的效果。水窜现象不仅导致了水资源的浪费, 也增加了开发成本, 降低了水驱的经济效益。

2.3 水源利用效率低，浪费严重

在传统水驱过程中，水源的利用效率往往不高，导致了大量的水资源浪费。由于注水量过大或注水方式不当等问题，水源往往不能有效地被使用，甚至出现过量注水的现象，这不仅造成了水资源的大量浪费，还可能导致地下水位变化不均，影响油层的稳定性，进而影响水驱效果^[4]。同时，水源的采集、运输和处理都需要大量的能量，这又增加了开发的成本。水资源的低效利用不仅使开发变得困难，还增加了环境负担，最终就影响了水驱技术的可持续发展水平。

3 水驱开发过程中提高采油效率的技术探索

为了应对传统水驱开发技术中存在的种种问题，近年来，许多新技术和方法被提出并逐步应用于水驱开发之中。

3.1 化学水驱技术

化学水驱技术是传统水驱技术的一种“PLUS升级版”，主要就是通过向注水中加入一些化学助剂，比如聚合物、表面活性剂等，来增强水与油之间的相互作用，从而让水在油藏中的渗透性更强，采油效率也随之提升。不同的油藏情况需要选用不同的助剂。常用的化学助剂有聚合物和表面活性剂，其中，聚合物可以增加水的粘度，慢慢地推进水流，让水驱前沿更加稳定，避免水流过快，直接流向不含油的地方；而表面活性剂则能够降低水与油之间的界面张力，让水和油更好地融合，推动油向井口流动。在实际操作中，工作人员会根据油藏的情况，选定合适的助剂，并按照比例与水混合，形成化学溶液。这些溶液就会和水一起，通过注水井注入油藏^[5]。注水的过程中，需要实时监测油藏的压力、温度和渗透性等数据，确保化学溶液能够均匀地分布到油层的每个角落。根据油藏的响应，工作人员会及时调整注水量和注水速率，确保助剂的作用能够最大化，促使油层中的原油顺利流动。化学水驱技术特别适用于那些水驱效果差、采油效率低的油藏，尤其是在原油黏度较大或者油层渗透性较差的情况下。通过化学助剂的作用，能够显著改善水与油的互动，提升原油的流动性，让油层的开采变得更加顺利。

3.2 多段注水技术

多段注水技术是一种通过将油藏划分为多个注水段，分区域、分阶段进行注水的方法，其主要目的是优化水流分布，避免水流过快绕过油层，从而提高采油效率。这项技术的核心在于合理设计注水策略，确

保水能够均匀渗透到每个油层，充分推动原油流动。在实际操作过程中，作业人员需要先对油藏进行详细勘探，了解油层的厚度、渗透性等基本情况。基于这些数据，油藏将被划分为多个注水段，每个注水段的设计根据油层的不同特性进行调整。接下来，作业人员会在每个注水段布置多个注水井，确保每个区域的油层都能得到足够的水源支持。注水时，工作人员要根据每个注水段的渗透性和油层特点，精确控制注水量和注水速率，避免水流不均或绕过富油区。实时监控系统帮助作业人员及时掌握油藏的变化情况，根据数据调整注水策略，确保水流能够均匀推动原油向生产井流动。

3.3 水力压裂与水驱结合技术

水力压裂与水驱结合技术，简单来说，就是一种先用水力压裂把油层裂开，再用注水把原油推出来的技术。这种方法可以让水更顺畅地进入油层，把原油推向生产井，大大提高采油效率。操作时，作业人员会选择合适的油层进行压裂，比如在油层的低渗透区域或油藏渗透性较差的部分进行压裂，再利用高压水流把岩石压裂，形成裂缝，利用裂缝之间的空隙和网络结构，增加油层的通透性，让水流可以轻松地渗透进油层，把原油带出来，进一步促进原油的流动。压裂后的油层就像一条打通了的水渠，水流可以顺畅地流动。注水的时候，作业人员需要根据油层的实际情况，精准控制注水量和速度。这样做不仅可以避免水流不均，也能确保水流能够推着原油朝生产井流动。具体实践中，作业人员要根据监控系统实时反馈油藏的变化来调整注水策略，保证水流的均匀性。通过精准的控制，水流能够稳定地推动原油，提高采油效率，同时减少不必要的资源浪费和油藏损失。

3.4 适应性注水技术

适应性注水技术就是一种通过实时监测油藏的变化，灵活调整注水方案，以提高水源利用效率的一种智能化注水方法。在实际操作中，作业人员会在油藏中布置多个实时监测设备，通过设备的监测持续跟踪油藏的压力、温度、渗透性、油水饱和度等关键参数。这些设备会将采集到的数据实时传输到中央控制系统，系统对数据进行分析后，就会及时评估油藏的当前状态，并计算出不同区域的注水需求。根据这些实时反馈的数据，作业人员便可以及时调整注水量和注水速率。例如，对于渗透性差的区域，作业人员会适当增加注水量，确保水能够充分渗透到油层，推动原

油流动；而在渗透性好的区域，作业人员则会减少注水量，避免浪费水源。整个注水过程中的注水量和注水速率都会根据油藏的实际反应进行灵活调整，确保水流均匀地推动原油，避免水流过快或不均。

3.5 热水驱技术

热水驱技术则是一种通过向油藏注入加热过的水，利用水的高温降低原油的黏度，从而增强水驱效果的技术，这种技术尤其适用于高黏度原油的开采过程。在操作过程中，作业人员使用热水发生器或锅炉等设备将水加热到特定温度，通常保持在80℃到150℃之间，这个温度范围可以显著降低原油的黏度，让原油变得更加流动，提升采油效率。加热后的热水会通过注水设备注入油藏，作业人员需要根据油层的特点设计注水井，确保热水能够顺利渗透到油藏中的富油区。在热水注入过程中，作业人员需要实时监控油藏的温度变化，确保热水均匀地覆盖整个油层。对于那些温度较低的区域，作业人员可以适当增加热水的注入量，确保这些区域的油层温度达到预定的水平。热水注入后，作业人员还需根据油层温度的变化调整注水的流量和压力，确保热水能够在油藏中顺畅流动，并有效推动原油向生产井流动。监控系统会实时反馈油藏的温度、注水流量等数据，作业人员可以根据这些信息灵活调整操作策略，让热水驱技术的效果最大化，最终提高采油效率。

4 优化技术的经济效益

4.1 提高采油效率，增加单位成本的回报

优化技术的应用能有效提升水驱开发的效率，使得每一单位投入的成本能够获得更多的产出。技术如化学水驱、多段注水以及水力压裂与水驱结合技术等，能够显著提高油藏的采收率，减少无效水流和不必要的资源浪费。这样，投入的成本没有增加，但采到的油却更多了，从而提高了油田的整体经济回报。

4.2 降低浪费，节省能源和水源

优化技术能够精准控制水的注入量，减少浪费和能源消耗。在传统水驱过程中，过量注水和能源消耗常常导致资源浪费，而通过适应性注水技术和热水驱技术，可以根据油藏的实时数据调整注水量和注水速率，避免水流不均或过量注水。这不仅节省了水源，还降低了能源的消耗，从而减少了整个开发过程的运营成本。

4.3 延长油田寿命，增加长期收益

应用优化技术还能够延长油田的开发周期，保持

油田的稳定产量，避免早期衰退和产量波动。相比传统的开发方法，优化技术能够保持较长时间的高产出，使油田在较长时间内持续为企业带来收益。这种延长油田寿命的效果，能够显著提高长期收益，增加油田的整体经济效益。

4.4 降低对环境的影响，推动可持续发展

优化技术在减少资源浪费的同时，还能够降低对环境的影响。通过精确控制注水量和注水方式，像多段注水和适应性注水技术能够减少水资源浪费，并有效避免地下水位的剧烈波动和环境污染。这些技术不仅符合环保法规的要求，还能推动油气行业向绿色、可持续的方向发展，提高油田开发的社会责任感。

5 结语

随着全球能源需求的持续增加，水驱开发作为一种提高石油采收率的关键技术，逐渐成为了石油行业研究的热点。虽然传统的水驱技术在一定程度上改善了油田采收率，但它依然面临许多问题，如采油效率低、能源浪费大等，尤其是在复杂油藏中，效果更加有限。为了解决这些问题，近年来，许多新技术相继被各大开发单位应用于水驱开发之中，其中，化学水驱、多段注水、水力压裂与水驱结合、适应性注水和热水驱等技术的推广，不仅提升了采油效率，也有效减少了资源浪费。未来，通过持续的技术创新，水驱开发技术不仅将进一步摆脱传统方法的限制，还将朝着更加高效、节能、环保的方向发展，从而促进石油行业的转型与升级。

参考文献：

- [1] 刘合,李艳春,贾德利,王素玲,乔美霞,屈如意,温鹏云,任智慧.人工智能在注水开发方案精细化调整中的应用现状及展望[J].石油学报,2023,44(09):1574-1586.
- [2] 董娟.石油采油工程技术中存在的问题及策略探析[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(22):160-162.
- [3] 侯亚伟,刘超,徐中波,安玉华,李景玲.多层水驱开发油田采收率快速预测方法[J].石油钻探技术,2022,50(05):82-87.
- [4] 张赫,单高军,杜庆龙,王承祥.大庆长垣油田特高含水后期水驱开发技术难题及其对策[J].大庆石油地质与开发,2022,41(04):60-66.
- [5] 王焕骁.高含水后期注水开采优化探讨[J].化学工程与装备,2020,(07):110+115.