

低渗透油藏机械采油方案优化及其经济效益分析

侯庆勇 李翠陶洁 周利 王中华

(中国石化胜利油田河口采油厂, 山东 东营 257200)

摘要: 本文旨在探索低渗透油藏机械采油方案优化及其经济效益, 文中分析了低渗透油藏的特点与低渗透油藏机械采油技术原理, 阐述了低渗透油藏机械采油过程常见问题, 针对问题, 文章提出了一系列的优化建议, 并根据优化建议分析了其经济效益, 本文认为优化后的机械采油方案具有更好的采油效率和成本控制能力, 可以更好的服务于低渗透油藏的开发过程, 提高项目整体的经济价值, 具有重要的推广意义。

关键词: 低渗透油藏; 机械采油方案; 机械采油技术优化; 经济效益

0 引言

低渗透油藏因为岩石孔隙度低、渗透性差, 开采起来非常困难^[1]。随着传统油气资源的逐渐枯竭, 低渗透油藏成为了开发的重点。然而, 由于这些油藏的特殊地质条件, 传统的开采技术很难达到理想的采收率, 而且开发成本也比较高^[2]。因此, 如何根据低渗透油藏的特点, 优化采油方案, 提高开采效率, 就成为了目前油气行业面临的一个重要挑战。

1 低渗透油藏概述

低渗透油藏就是指那些渗透率很低的油气储层, 通常渗透率低于1毫达西(mD)。目前, 在我国四川、陕甘宁等区域, 低渗透油藏的开发逐渐成为油气产业的重要组成部分。这些油藏的特点是岩石孔隙度小, 油气不容易流动, 开采起来比较困难。相比传统的油藏, 低渗透油藏的油气经常出现分布不均, 渗透性差等各种开发问题, 容易导致油气自然流动性差, 传统的采油方式往往无法有效提高采收率, 开采效率低, 成本也比较高^[3]。因此, 低渗透油藏的开发一直是一个技术难题。随着传统油气资源的逐渐枯竭, 低渗透油藏也“被迫”逐渐成为开发的重点。虽然开采这些油藏有很多挑战, 但目前我国很多开发单位也已经开始尝试采用水平井、压裂等技术, 结合定向钻井和水驱等技术手段, 优化采油方案, 整体来看, 还是可以较好地提高采油效率, 降低开发成本的。近年来, 随着新技术的不断涌现, 低渗透油藏的开发逐渐进入了一个新的阶段, 技术手段和设备的不断升级成为开发的关键, 低渗透油藏的开采效率有了显著提高, 开发潜力逐步得到释放。

2 低渗透油藏机械采油技术原理

低渗透油藏的机械采油技术主要是通过机械手段

来提升油气流动性, 从而提高采收率。由于这些油藏渗透率低、油气流动性差, 传统的自然能采油方式往往无法满足需求, 因此需要采用各种机械采油手段。

①人工举升(杆泵): 人工举升技术是最基础的机械采油方式, 广泛应用于低渗透油藏。它通过安装在井口的抽油机与下井的泵体之间, 进行周期性的上下运动, 把地下的油气抽到地面。简单来说, 就是利用抽油机的动力将泵体上下移动, 从而把井下的油气提取出来。

②电动泵举升: 相比人工举升, 电动泵举升效率明显更高。电动泵可以通过电动机驱动泵体, 使油气能够稳定地被抽取到地面。电动泵的优势就在于其运行平稳、能耗低, 而且维护也较为简便。

③压裂技术: 低渗透油藏的油气流动性本身比较差, 所以, 采油单位就研发了压裂技术来改善这一问题。具体就是通过向油藏注入液体, 并加压使地层发生破裂, 形成一个网络状的裂缝系统, 增强油气的流动性。

④气举采油: 相比于其他几种技术, 气举技术则略显不同, 它主要是利用气体的浮力作用, 将油气带至地面的。一般情况下, 气举需要在井底注入气体, 使气体浮力推动油气流动, 达到采油的目的。这种方法比较适用于那些油气分布较为均匀但流动性较差的低渗透油藏。

⑤柱塞泵: 柱塞泵的原理就比较简单, 主要是采用活塞周期性运动来推动液体流动, 这种技术也同样适用于低渗透油藏的采油过程。其中, 柱塞泵可以通过阀门控制液体的流入和流出, 还可以通过周期性的活塞运动, 将井下的油气推送到地面。

3 低渗透油藏机械采油过程常见问题分析

在低渗透油藏的开采过程中, 虽然很多单位都采

用了许多先进的机械采油技术，但依然面临不少挑战。

①采油效率低：低渗透油藏最大的难题之一就是油气流动性差。虽然我们也用了各种方法来增加油气的流动性，比如压裂、气举等，但油气依然很难顺利流向井口。这种情况特别出现在油藏的初期，油气流动性差，采油设备的效果也不如预期。

②设备故障频繁：低渗透油藏的开发往往需要长期高强度地运行机械设备，这样设备的故障频率就会大大增加。比如电动泵、柱塞泵等设备，长时间高强度运转容易导致过热、磨损或堵塞。

③油气流动性差：即使采取了压裂、气举等手段来提高油气流动性，一些低渗透油藏中的油气流动性仍然会很差。尤其是一些油气分布不均的地方，有些区域的油气几乎无法流动到井口，导致采油效果始终不甚理想。

④能耗高，经济性差：低渗透油藏的开采需要消耗大量的能源，尤其是电动泵和气举等高能耗设备。由于这些设备需要在较大压力下运行，长时间的高强度工作会使得设备的能耗进一步增加。在一些深层油藏中，机械采油的能耗可能会占到整体开采成本的很大一部分。

⑤环境风险和安全隐患：低渗透油藏的开采过程中，尤其是使用压裂和气举技术时，存在一定的环境风险和安全隐患。比如，压裂技术如果操作不当，注入压力过高，就有可能导致井筒破裂或井喷事故，带来严重的安全问题。而压裂过程中使用的液体中有些可能含有有害物质，如果处理不当，就可能会污染地下水，带来严重的环境污染问题。

⑥水资源管理问题：低渗透油藏的开采中，往往需要大量的水资源进行水驱或水力压裂。然而，水驱技术在低渗透油藏中的效果并不理想，水注入后并不能有效推动油气流动，导致水资源的浪费。甚至有时，水注入过多可能会造成水淹油层，反而降低采油效果。

4 低渗透油藏机械采油方案优化策略

虽然低渗透油藏的开采目前还是面临着很多的技术挑战，但我们还是可以通过一些切实可行的优化策略，有效提高采油效率、降低设备故障、减少能耗，提升经济效益。

4.1 优化机械采油技术组合

低渗透油藏的油气流动性差，单一的采油方式往往效果不好。因此，我们也可以采用多种采油技术的组合来发挥各种技术的协同优势：

①人工举升和电动泵配合使用：对于不同深度和

油气流动性差异的油层，我们可以结合使用人工举升和电动泵。例如，浅层油藏使用人工举升设备，而较深或流动性差的油层则采用电动泵，保证在不同情况下的高效采油。

②气举与压裂的联用：在实际开发中，气举技术是可以提升采油效率的，但其效果往往受限于油气的分布情况。但我们可以将其与压裂技术联合使用，这样就可以打开更多裂缝，增加油气的流动通道，进而提升气举的效果。

4.2 提升设备智能化水平

设备故障和运行不稳定是低渗透油藏开发中的常见问题。我们可以通过提高设备的智能化水平，来有效减少故障和停机时间：

①智能监控系统：我们可以安装一些实时监控设备，监测油井的压力、温度和设备状态。这样就可以及时发现问题并进行修复，避免大规模故障造成的停机，提升设备的可靠性。

②自动调节系统：我们还可以根据井下的实时数据，自动调节设备的工作状态。例如，自动调节电动泵的转速，使其始终在最佳状态下运行，减少不必要的能耗和设备磨损。

4.3 改进压裂与水驱技术

压裂和水驱技术对低渗透油藏的开采是至关重要的，因此，我们可以合理优化这两项技术的协同作用来显著提高整体的采油率。

①精准压裂：我们可以通过控制压裂液的注入量和注入压力，避免过度压裂带来的不良后果。还可以合理设计每一层的压裂方案，确保裂缝能有效扩展，提升油气流动性。

②智能水驱：在开采过程中，我们可以采用智能水驱系统，根据油藏的不同区域和油气分布情况，精确调节注水量，避免水资源浪费，确保水驱效果最优化。

4.4 优化能效管理

低渗透油藏的采油需要大量能源，因此我们需要采用一些有效的策略来降低整体的能耗、减少开采成本。

①选择节能设备：在开采过程中，可以采用一些高效的电动泵和低能耗气举设备，确保在保证采油效率的同时，尽量减少能源消耗。特别是一些变频电动泵，它们可以根据需求来动态调节泵的转速，避免无效能耗。

②能量回收：我们还可以充分利用废气和废热进行能量回收，比如通过热交换系统将废气转化为热能供设备使用，减少外部能源的需求。

4.5 加强安全与环境管理

低渗透油藏开采过程中，安全和环保问题必须重视，因为机械采油毕竟涉及高压、高温等作业环境，容易引发设备故障、井喷或环境污染等风险。因此，我们需要加强全过程的安全监控和环境保护措施，确保开采过程的安全性和环保性。

①实时压力监控：在低渗透油藏开采过程中，尤其是在注气和注水作业中，我们需要通过实时监测井下的压力变化，确保井下压力控制在安全范围内，避免由于压力过高引发井喷、设备损坏等安全事故。通过安装压力传感器和自动调节系统，可以随时调整注气量或注水量，防止井筒发生破裂或出现其他安全隐患，确保整个采油过程的稳定性和安全性。

②环保型压裂液：在进行压裂作业时，要尽量采用环保型压裂液，减少对环境的影响。传统的压裂液可能含有有害化学物质，长期使用可能污染地下水水源。为了减少这种风险，选择环保型压裂液是非常重要的，它们对地下水和土壤的污染较小。此外，在压裂完成后，必须严格回收和处理压裂液，确保其不会渗透到地下水层中或对周围环境造成污染。通过有效的压裂液回收系统，不仅可以减少对环境的污染，还能降低处理成本，提高资源的利用效率。

4.6 智能水资源管理

水资源管理在低渗透油藏开采中同样非常重要，因为我们目前的低渗透油藏大多分布在西北干旱地区、内蒙古、四川盆地等水资源相对紧张的区域，这些地区的水资源有限，往往依赖外部水源或地下水进行开采。为了避免过度消耗水资源，我们需要做好精准的水资源管理，提升采油效率并减少资源浪费：

①精准控制注水量：在低渗透油藏开采过程中，水驱是一种常见的提高采收率的技术手段。然而，注水量控制不当容易导致水驱效果不理想，甚至发生水淹油层的现象。我们应当通过智能水驱系统，实时监控油藏的动态变化，结合油藏不同时段的油气分布情况，灵活调整注水量和注水速率，确保水驱效果最优化。精准控制注水量可以有效避免过度注水引起的水淹油层问题，同时提升采油效率，保证水资源的有效利用。

②水循环利用：在低渗透油藏的开发过程中，我们可以利用水资源循环利用系统，回收并再利用使用过的水，减少对外部水源的依赖。通过对废水的处理和净化，将其再利用于水驱或其他生产环节，既降低了水资源的消耗，也降低了生产成本。此外，水循环利用可以减少对环境的负担，尤其是在水资源紧张的

地区，更能保证开发过程的可持续性。

5 优化策略的经济效益分析

低渗透油藏的开发面临不少挑战，但通过一系列有效的优化策略，不仅能提高采油效率，还能大幅降低成本，带来可观的经济效益。通过合理搭配不同的采油技术、提升设备的智能化水平、优化能效管理等措施，整体开发成本将得到有效控制。

在采油技术方面，我们可以采用多种技术组合，如人工举升与电动泵的配合使用，针对不同深度和油气流动性差的层段灵活调整，避免单一技术的局限性，最大化提升采油效率。设备的智能化管理也同样对经济效益有很大影响。通过实时监控设备的运行状态，我们可以减少故障和停机时间，避免大规模的设备损坏带来的额外开销。智能控制系统还可以根据井下实时数据自动调节设备的工作状态，减少不必要的能耗和设备磨损，从而延长设备使用寿命，降低维修和更换的成本。在压裂和水驱技术方面，通过精准控制压裂液的注入量和注入压力，我们可以避免过度压裂带来的不良影响，确保裂缝有效延伸，提升油气流动性。而智能水驱技术则可以根据油藏实际情况调整注水量，避免浪费水资源，确保水驱效果的最大化。同时，水资源的循环利用措施则不仅可以降低水消耗，还能减少对外部水源的依赖，尤其是在水资源紧张的地区，水资源的高效管理能为开发过程节省大量成本。

通过这些策略的优化，采油效率可以大幅提高，能源和资源的使用可以更为高效，生产成本也可以得到了有效控制。总体来看，低渗透油藏的机械采油方案优化应用不仅可以提升采收率，还能通过降低开采成本和减少能耗，带来明显的经济回报，为油田的可持续发展奠定重要基础。

6 结语

对于低渗透油藏而言，优化后的机械采油方案能够更好地提高采油效率，降低开发成本，实现资源的高效利用。通过技术手段的不断优化和创新，不仅可以提升油气的采收率，还能减少能耗，降低环境风险，为油田的可持续发展奠定基础。

参考文献：

- [1] 徐伟嵩.油田低渗透层采油工艺技术措施分析[J].化学工程与装备,2024,(08):86-88.
- [2] 王思萌.低压低渗透油藏采油措施[J].化学工程与装备,2022,(06):90+87.
- [3] 姜晓东.浅层低渗透油藏的采油工艺和压裂工艺[J].化学工程与装备,2022,(01):115-116.