

石油天然气藏压裂技术研究进展

刘申策 倪庆怀 王冬

渤海钻探工程有限公司井下技术服务分公司 天津 300280

摘要:近年来,随着科技的不断进步,新型压裂材料和工艺不断涌现。本文系统地研究了石油天然气藏压裂技术的发展现状与未来趋势。详细阐述了压裂技术的概念及发展历程,深入分析了水平井分段压裂技术、复杂结构井压裂技术、暂堵压裂技术和压裂过程实时监测技术等关键技术油气藏开发中的应用。同时,探讨了压裂技术在提高油气采收率方面的重要作用,包括增加储层渗透性、沟通天然裂缝系统以及提高油气井产能。最后,对石油天然气藏压裂技术的未来发展趋势进行了展望,为该领域的进一步研究和应用提供了参考。

关键词:石油天然气;藏压裂技术;研究进展

引言:随着全球对石油和天然气资源需求的持续增长,高效开发石油天然气藏成为当务之急。压裂技术作为提高油气采收率的重要手段,在油气藏开发中发挥着关键作用。近年来,随着科技的不断进步,压裂技术不断创新,涌现出多种新型压裂技术和工艺。旨在对石油天然气藏压裂技术的研究进展进行全面梳理和深入分析,为推动油气藏的高效开发提供理论支持和技术指导。

1 压裂技术概述

1.1 压裂技术的定义和作用

压裂技术是指利用高压流体将地层压开,形成具有一定导流能力的裂缝,从而改善储层渗透性,提高油气产量的一种技术手段。其主要作用包括:增加油气渗流通道:通过压裂形成的裂缝,增加了油气从储层向井筒的渗流通道,降低了流动阻力,提高了油气产量。改善储层渗透性:对于低渗透储层,压裂可以有效地改善储层的渗透性,提高油气的采收率。沟通天然裂缝系统:压裂裂缝可以与储层中的天然裂缝系统相互沟通,形成更加复杂的渗流^[1]。

1.2 压裂技术的发展历程

20世纪40年代,水力压裂技术的出现开启了油气藏开发的新征程,那时,人们开始尝试利用水力的强大冲击力来改造地层,提高油气产量。随着时间的推移,科技的不断进步促使压裂技术日益多样化。泡沫压裂技术的诞生,利用泡沫的独特性质,在一些特定地层中展现出优势。而清洁压裂液压裂技术更是响应环保需求,降低了对环境的影响。与此同时,压裂设备不断更新换代,从最初的简陋装置发展到如今的高精度、智能化设备,工艺方面也持续改进和完善,从压裂参数的优化到施工流程的精细化管理。

2 石油天然气藏压裂技术研究

2.1 水平井分段压裂技术

它主要是针对低渗透、致密等复杂油气藏,通过对水平井进行分段压裂,增加油气渗流通道,提高油气产量。该技术的原理是利用特殊的工具和工艺,将水平井分成若干段,逐段进行压裂施工。第一,通过地质和储层特征分析,确定合理的分段方案。然后,采用封隔器等工具将不同段分隔开来,依次注入压裂液,使地层产生裂缝。压裂液通常根据储层特性进行选择,如水基压裂液、油基压裂液或泡沫压裂液等。第二,水平井分段压裂技术具有显著优势,一方面,它能大幅度增加储层与井筒的接触面积,提高油气采收率。另一方面,该技术可以适应不同类型的油气藏,包括页岩气、致密砂岩气等非常规油气藏。第三,在实际应用中,水平井分段压裂技术也面临一些挑战,例如,分段工具的可靠性、压裂过程中的裂缝控制以及对储层的伤害等问题。为了克服这些挑战,科研人员不断进行技术创新和优化,提高工具的性能和工艺的稳定性,以实现更加高效、安全的油气藏开发^[2]。

2.2 复杂结构井压裂技术

复杂结构井通常包括水平井、多分支井等,其独特的井身结构为油气开采带来了新的机遇与挑战。第一,由于井身轨迹复杂,压裂液的注入和分布需要更加精准的控制,通过先进的模拟软件和监测技术,可以优化压裂液的注入参数,确保压裂效果的均匀性和有效性。第二,复杂结构井压裂技术的关键在于裂缝的起裂和扩展控制,利用特殊的压裂工具和工艺,可以在不同的井段和方向上引导裂缝的生长,形成复杂的裂缝网络,从而增加油气的渗流通道。为了提高支撑剂在复杂井眼中的输送效率,研发了新型的支撑剂体系和输送技术。第

三,复杂结构井压裂技术还需要考虑储层的非均质性和地应力场的影响,通过详细的地质力学分析和储层评价,可以制定个性化的压裂方案,最大限度地提高油气产量。然而,该技术也面临着一些挑战,如施工难度大、成本较高、对技术要求严格等。但随着技术的不断进步,复杂结构井压裂技术必将在未来的油气开发中发挥更大的作用。

2.3 暂堵压裂技术

在传统压裂过程中,由于储层的非均质性,压裂液往往会优先沿着高渗透层或已有的裂缝流动,导致压裂效果不均匀。暂堵压裂技术则是通过向地层中注入暂堵剂,暂时封堵已有的裂缝和高渗透层,迫使压裂液转向低渗透区域,从而实现整个储层的均匀改造。暂堵剂的选择至关重要。常见的暂堵剂有颗粒状、纤维状和胶状等。这些暂堵剂具有良好的封堵性能和可降解性,在压裂施工结束后,能够在一定时间内自行降解,不会对储层造成长期的伤害,暂堵压裂技术的施工过程较为复杂。需要对储层进行详细的地质分析和评估,确定暂堵剂的类型和用量。然后,在压裂过程中,准确地将暂堵剂注入到预定位置,实现有效的封堵,要密切监测压裂过程中的压力变化和裂缝扩展情况,及时调整施工参数。暂堵压裂技术具有显著的优势。它可以提高储层的改造程度,增加油气产量;由于实现了均匀压裂,减少了压裂液的浪费和对环境的影响。然而,该技术也面临着一些挑战,如暂堵剂的性能稳定性、注入精度等问题^[3]。

2.4 压裂过程实时监测技术

该技术通过安装在井口及井下的各种传感器,实时采集压裂过程中的压力、流量、温度等关键参数。这些数据能够及时反馈压裂作业的进展情况,为现场工程师提供准确的决策依据。例如,压力的变化可以反映裂缝的起裂和扩展情况,流量的波动则可能暗示着压裂液的泄漏或堵塞。在井下监测方面,先进的微地震监测技术被广泛应用,它通过检测压裂过程中产生的微小地震波,来推断裂缝的形态、方位和长度。这有助于优化压裂设计,提高压裂效果。同时,地面监测系统也不断升级,利用高精度的流量计和压力计,实时监测压裂液的注入和返排情况。压裂过程实时监测技术还可以实现远程监控。工程师可以在办公室通过网络实时查看压裂现场的数据,及时调整施工参数,确保压裂作业的安全和高效。此外,监测数据的存储和分析也为后续的压裂效果评估和油气藏开发提供了宝贵的资料,该技术也面临一些挑战。传感器的准确性和稳定性需要不断提高,以应对复杂的井下环境,数据的传输和处理也需要更加高

效和可靠,以满足实时监测的要求。

3 压裂技术在提高油气采收率中的作用

3.1 增加储层渗透性

压裂技术在提高油气采收率中发挥着关键作用,其中一个重要方面就是增加储层渗透性。石油和天然气储存在地下的岩石孔隙和裂缝中,然而,许多储层的渗透性较低,油气的流动受到很大限制,导致采收率低下。压裂技术通过向储层注入高压流体,使地层产生裂缝,从而极大地增加了储层的渗透性。当进行压裂作业时,压裂液在高压作用下进入地层,撑开岩石,形成新的裂缝网络。这些裂缝不仅增加了油气的渗流通道,而且扩大了油气与井筒的接触面积。原本难以流动的油气可以更容易地通过裂缝流入井筒,从而提高油气的产量和采收率。例如,在致密油气藏中,储层岩石非常致密,渗透性极低。通过压裂技术,可以在储层中制造出大量的人工裂缝,使原本几乎不流动的油气能够被开采出来。此外,对于一些老油田,随着开采时间的延长,储层压力下降,渗透性也会逐渐降低,并采用压裂技术可以重新激活储层,提高其渗透性,延长油田的开采寿命^[4]。

3.2 沟通天然裂缝系统

在提高油气采收率的过程中,压裂技术的一个重要作用是沟通天然裂缝系,地下的石油和天然气储层中,常常存在着天然裂缝系统。这些天然裂缝是油气运移的重要通道,但由于其分布的复杂性和不确定性,往往难以被充分利用。压裂技术的应用为沟通这些天然裂缝系统提供了可能。当进行压裂作业时,高压压裂液注入地层,产生的人工裂缝不仅能够增加储层的渗透性,还可能与天然裂缝相互连接。这种连接可以极大地扩展油气的流动通道,提高油气的采收率。一方面,压裂形成的人工裂缝可以作为桥梁,将原本孤立的天然裂缝连接起来,形成一个更为广泛的裂缝网络。油气可以通过这个网络更加顺畅地流向井筒,减少流动阻力。另一方面,沟通天然裂缝系统可以使储层中的流体分布更加均匀,避免局部压力过高或过低的情况,从而提高整个储层的开发效果。例如,在一些复杂的碳酸盐岩储层中,天然裂缝发育丰富。通过精心设计的压裂方案,可以有针对性地引导人工裂缝与天然裂缝沟通,充分发挥天然裂缝的优势。

3.3 提高油气井产能

在提高油气采收率的过程中,压裂技术对提高油气井产能起着至关重要的作用。(1)压裂技术通过在储层中制造人工裂缝,极大地增加了油气的渗流通道。原本油气在低渗透储层中流动困难,产能受限。而压裂形成

的裂缝网络使油气能够更快速、更顺畅地流向井筒，从而显著提高油气井的产量。例如，在致密油气藏中，压裂后的油气井产能往往可以提高数倍甚至数十倍。（2）压裂可以沟通天然裂缝系统，进一步拓展油气的流动空间。天然裂缝中往往含有大量的油气，但由于其分布的复杂性和不连通性，难以被有效开采。压裂产生的人工裂缝能够与天然裂缝相互连接，形成一个更为庞大的油气运移网络，大大提高了油气井的产能。（3）压裂技术还可以改善储层的物理性质。高压压裂液的注入可以改变储层的应力状态，使岩石孔隙度和渗透率得到一定程度的改善，压裂过程中使用的支撑剂可以支撑裂缝，防止裂缝闭合，保持油气的流动通道畅通。（4）压裂技术还可以与其他增产措施相结合，如酸化、注水等，共同提高油气井的产能。例如，先进行酸化处理，溶解储层中的堵塞物，然后再进行压裂，能够取得更好的增产效果。

4 石油天然气藏压裂技术的未来发展趋势

石油天然气藏压裂技术作为油气田开发中的一项关键技术，其未来发展趋势将更加注重技术创新、环保节能和智能化发展。第一，技术创新是推动石油天然气藏压裂技术进步的核心动力。随着科技的不断进步，新的压裂技术和工艺将不断涌现。例如，纳米技术在压裂液中的应用，能够提高压裂液的携砂能力和降阻性能，从而提高压裂效果。此外，新型压裂材料的研发也将为压裂技术带来新的突破，如可生物降解的压裂液、高效的支撑剂等，这些新材料的应用将有助于降低压裂成本，提高资源利用效率。第二，环保节能将成为石油天然气藏压裂技术发展的重要方向。随着全球对环境保护意识的不断提高，油气行业面临着越来越严格的环保法规和标准。因此，未来的压裂技术将更加注重环保性能，如减少压裂过程中的污染物排放、降低能耗等。通

过优化压裂设计和施工参数，实现精准压裂，减少无效水力裂缝的产生，提高油气采收率，也是未来压裂技术发展的重要趋势。第三，智能化发展将是石油天然气藏压裂技术的未来趋势之一。随着大数据、人工智能等技术的不断发展，未来的压裂作业将更加智能化、自动化。通过实时监测和数据分析，可以更准确地预测裂缝扩展规律和油气流动规律，优化压裂设计和施工参数，智能化的压裂设备和技术也将大大提高作业效率和安全性，降低人工成本^[5]。

结束语

综上所述，石油天然气藏压裂技术在不断发展与创新中取得了显著成果。从传统压裂技术到如今的智能化、环保化技术，为油气资源的高效开发提供了有力支撑。然而，我们也应认识到，压裂技术仍面临诸多挑战，需要持续投入研发力量。未来，随着科技的进一步发展，相信压裂技术将在提高油气采收率、保障能源安全方面发挥更加重要的作用，为石油天然气行业的可持续发展注入新的活力。

参考文献

- [1]郭天魁,王瀚,王志强,等.页岩气水平井体积压裂技术研究与应用[J].石油机械,2023,51(9):4-8.
- [2]李勇,张伟,陈晓东,等.水力压裂过程中裂缝扩展规律的数值模拟研究[J].石油学报,2023,44(6):897-905.
- [3]王丽娟,赵明,刘洋,等.二氧化碳干法压裂技术在低渗透油藏中的应用研究[J].油气田地面工程,2023,42(8):1-4.
- [4]张强,李华,王磊,等.重复压裂技术在老油田开发中的应用与效果分析[J].石油勘探与开发,2023,50(5):789-795.
- [5]赵敏,孙刚,李明,等.新型压裂液体系的研发与性能评价[J].石油化工,2023,52(7):678-682.