新时期我国非常规油气开发二氧化碳压裂技术的分析

罗 斌

中石化西南石油工程有限公司井下作业分公司 四川 德阳 618000

摘要：新时期，我国非常规油气开发中，二氧化碳压裂技术作为一项创新技术，展现出巨大的应用潜力和优势。该技术通过利用二氧化碳的特殊物理性质，有效降低储层的起裂压力，增加裂缝的复杂性，提高储层的渗透率。同时二氧化碳压裂技术还能够减少储层伤害，提高原油采收率，并实现CO₂的地下封存，具有显著的环保效益。本文将对二氧化碳压裂技术在非常规油气开发中的应用进行详细分析，探讨其技术原理、应用效果及发展前景。

关键词：新时期；非常规油气开发；二氧化碳压裂技术；技术应用

1 非常规油气与二氧化碳压裂技术概述

1.1 非常规油气资源特点

非常规油气资源主要指赋存于致密储层中的石油和天然气资源，这类资源的成藏与赋存机理与常规油气不同，一般需要经过特定的改造措施才能获得经济产量。它们主要包括致密油、致密气、页岩油、页岩气、煤层气、可燃冰、油砂和油页岩等。这些资源通常分布在盆地中心、斜坡等大范围内，呈现出连续且局部集中的分布特征。其储层致密且大规模分布，储源以自生自储为主，无明显界限的非闭合圈闭。在运移方式上，非常规油气资源多为原地成藏或仅经过一次运移。此外，由于浮力作用受限，其聚集作用也相对特殊。在渗流特征上，非常规油气资源主要以非达西渗流为主。流体特征方面，这些资源的流体分异差，无统一的流体界面与压力系统，饱和度差异大，油、气、水与干层易共存。在资源特征上，非常规油气资源的丰度较低，储量通常按井控区块进行计算。最后，由于这些资源的特殊性，其开采工艺也需采用针对性的技术。

1.2 二氧化碳压裂技术原理

二氧化碳压裂技术是一种先进的非常规油气开采技术，其原理是利用高压二氧化碳将煤层或页岩矿层内的天然气释放出来。在二氧化碳压裂过程中，首先进行钻井和固井，然后将高压CO₂气体注入到煤层或页岩矿层中，使其矿层内部的裂缝扩大并连接起来，从而释放出天然气。具体来说，通过将高压（超过饱和压力）的二氧化碳注入岩石中，使其达到临界点以上，形成致密流体，从而产生缓慢的渗透压力，最终使岩石发生裂开^[1]。超临界CO₂流体黏度低、扩散系数高、表面张力接近零，具有许多独特的物理和化学性质，易使储层形成复杂裂缝网络，同时不会引起储层黏土膨胀，储层压裂改造效果好。

1.3 二氧化碳压裂技术的发展历程

二氧化碳压裂技术主要经历了几个发展阶段。其中，最早的液态CO₂加砂干法压裂技术采用100%液态CO₂作为携砂液，工艺流程相对简单。在早期应用中，大约60%的压裂成功应用于气井，25%成功应用于油井，还有15%没有商用价值。然而，随着技术的不断发展和完善，CO₂干式压裂技术的应用范围和效果都得到了显著提升。在国内，由于国外公司的技术封锁，CO₂干式加砂压裂技术的发展起步较晚，难度较大。但近年来，通过科研攻关和现场试验，国内企业已经逐渐掌握了这项技术，并实现了从试验到应用的转化。目前，已经具备了单井施工排量每分钟6至8立方米、加砂60立方米以上、加入1000吨二氧化碳的作业能力。

2 二氧化碳压裂技术面临的挑战与应对策略

2.1 二氧化碳供应与成本问题

二氧化碳压裂技术在实际应用中面临的首要挑战是二氧化碳的供应与成本问题。这一技术需要大量的二氧化碳作为压裂介质，因此确保稳定且充足的二氧化碳供应是技术应用成功的关键。目前二氧化碳的获取渠道相对有限，主要依赖于工业废气回收、天然气处理过程中的副产品以及专门的生产设施。这些供应方式在成本、可行性和可持续性方面存在差异，导致二氧化碳的供应成本较高，成为制约二氧化碳压裂技术推广应用的重要因素。为了应对二氧化碳供应与成本问题，可以采取多种策略。首先，加强二氧化碳回收和再利用技术的研发，提高回收效率和降低成本。通过技术创新和工艺改进，提高工业废气中二氧化碳的回收率，同时降低回收过程中的能耗和成本。其次，探索新的二氧化碳生产方法，如利用可再生能源进行电解水制氢并同时产生二氧化碳，或者开发其他低碳、高效的二氧化碳生产途径。建立二氧化碳供应网络，实现区域性的二氧化碳资源共享和调

配,也是降低供应成本的有效途径。通过构建完善的二氧化碳供应体系,可以确保二氧化碳压裂技术的稳定应用,并推动其在非常规油气资源开发中的广泛应用。

2.2 相关技术标准与规范缺失

二氧化碳压裂技术在应用过程中面临的另一个挑战是缺乏统一的技术标准和规范。由于该技术相对较新,其在实际应用中的安全性、有效性和环境影响等方面的评估标准尚未完善。这可能导致在技术应用过程中出现安全隐患、效果不佳或环境破坏等问题,进而影响技术的推广和应用效果。为了应对相关技术标准与规范缺失的挑战,需要采取一系列策略,加强技术研发和试验验证,积累更多的数据和经验,为制定技术标准提供科学依据。通过深入研究二氧化碳压裂技术的机理和特性,明确其在不同地质条件下的应用效果和限制条件,为制定技术标准提供可靠的数据支持。推动行业协作和标准制定工作,建立统一的技术标准和规范体系。加强行业内外的沟通与协作,共同制定二氧化碳压裂技术的技术标准、安全规范和环境影响评估方法,确保技术应用过程中的合规性和安全性^[2]。加强对技术应用过程的监管和评估,确保技术应用的合规性和安全性。通过建立完善的监管机制,对技术应用过程进行全程监控和评估,及时发现和纠正问题,确保技术应用的稳定性和有效性。还需要加强对二氧化碳压裂技术环境影响的评估和研究,通过深入研究该技术对地下水、土壤和空气等环境的影响,明确其环境风险和潜在问题,为制定环保政策提供科学依据。积极探索和推广环保型二氧化碳压裂技术,降低技术应用过程中的环境污染和生态破坏风险,推动非常规油气资源的绿色开发。

3 二氧化碳压裂技术在新时期非常规油气开发中的应用

3.1 降低起裂压力与增加裂缝复杂性

在新时期的非常规油气开发中,二氧化碳压裂技术以其独特的优势,成为提高开采效率的关键技术之一。该技术最显著的应用效果之一在于能够显著降低起裂压力,并增加裂缝的复杂性。传统的水力压裂技术往往需要较高的压力才能使储层岩石破裂,形成裂缝,而二氧化碳压裂技术则利用二氧化碳的特殊物理性质,如低粘度、高扩散性和易于达到超临界状态等,使得岩石在较低的压力下就能发生破裂。二氧化碳在超临界状态下,其渗透能力极强,能够迅速渗透到岩石的微裂缝中,并通过膨胀作用使裂缝进一步扩展。这种膨胀作用不仅降低了起裂所需的压力,还使得裂缝在扩展过程中形成更为复杂的网络结构。与传统的水力压裂相比,二氧化碳

压裂形成的裂缝更加细小且分布更为广泛,这有助于增加油气流动的通道,提高油气资源的可采性。二氧化碳压裂技术还能够减少储层伤害,水力压裂过程中,由于水的存在,可能会导致储层中的黏土矿物膨胀,从而堵塞裂缝,降低油气流动效率。而二氧化碳作为一种非极性气体,与储层岩石的相互作用较弱,不易引起黏土矿物的膨胀,因此能够减少对储层的伤害,保持裂缝的畅通。在实际应用中,二氧化碳压裂技术已经取得了显著的成效。这一技术的应用不仅提高开采效率,还降低开采成本,为非常规油气资源的开发提供新的思路和方法。

3.2 提高储层改造效果与原油采收率

二氧化碳压裂技术在新时期非常规油气开发中的另一个重要应用是提高储层改造效果和原油采收率。由于非常规油气资源通常赋存于低渗透或特低渗透储层中,这些储层的孔隙度和渗透率较低,油气流动困难,因此需要通过储层改造来提高其渗透性,从而增加油气产量。二氧化碳压裂技术通过形成复杂的裂缝网络,增加了储层中的油气流动通道,提高了储层的渗透率。二氧化碳在储层中的溶解作用也能够改变原油的物理性质,如降低原油的粘度和密度,提高其流动性。这种溶解作用还能够使原油从岩石表面解吸下来,增加原油的可采量。二氧化碳压裂技术还能够促进储层中的油气运移,在压裂过程中,二氧化碳的注入能够形成一定的压力梯度,推动油气向生产井方向运移。这种运移作用不仅有助于提高油气产量,还能够减少储层中的剩余油饱和度,进一步提高原油采收率。在实际应用中,二氧化碳压裂技术已经取得了显著的储层改造效果。例如,在某些页岩气藏中,采用二氧化碳压裂技术后,储层的渗透率提高数倍,油气产量也大幅增加。这一技术的应用不仅提高储层的开采效率,还为非常规油气资源的可持续发展提供了有力保障。

3.3 环保效益与CO₂封存

在新时期非常规油气开发中,二氧化碳压裂技术不仅具有显著的经济效益,还具有重要的环保效益。随着全球气候变化的日益严峻,减少温室气体排放、实现碳减排已成为全球共识。二氧化碳压裂技术作为一种将二氧化碳注入地下储层进行压裂的方法,不仅能够有效利用二氧化碳资源,还能够实现CO₂的地下封存,减少温室气体排放。在压裂过程中,二氧化碳被注入地下储层中,与储层岩石和流体发生相互作用,形成稳定的碳酸盐矿物或其他含碳矿物,从而实现CO₂的地下封存。这种封存方式不仅具有长期稳定性,还能够避免CO₂排放到大气中造成的温室效应^[3]。二氧化碳压裂技术还能够促进非

常规油气资源的绿色开发,传统的水力压裂技术需要大量的水资源,并可能产生废水、废渣等环境问题。而二氧化碳压裂技术则避免了这些环境问题,实现了油气资源的绿色、可持续开发。在实际应用中,二氧化碳压裂技术的环保效益已经得到初步验证。例如,在某些油田中,采用二氧化碳压裂技术后,不仅提高油气产量,还实现了CO₂的地下封存,减少温室气体排放。这一技术的应用不仅有助于推动非常规油气资源的绿色开发,还为全球碳减排目标的实现提供有力支持。

4 二氧化碳压裂技术在不同非常规油气藏中的应用

4.1 在页岩气开发中的应用

二氧化碳压裂技术在页岩气开发中展现出了独特的优势和应用潜力。页岩气作为一种典型的非常规油气资源,其储层通常具有低渗透性、高脆性和富含有机质等特点,这使得传统的水力压裂技术在应用时面临诸多挑战。而二氧化碳压裂技术则凭借其低粘度、高扩散性和易于达到超临界状态等特性,在页岩气开发中发挥了重要作用。在实际应用中,二氧化碳压裂技术能够显著降低页岩储层的起裂压力,并促进裂缝的扩展和复杂化。由于二氧化碳分子较小,能够更容易地渗透到页岩储层的微裂缝中,通过膨胀作用使裂缝进一步扩展,形成更为复杂的裂缝网络。二氧化碳压裂技术还能够减少储层伤害,保持裂缝的畅通。与传统的水力压裂相比,二氧化碳压裂过程中不易引起黏土矿物的膨胀和堵塞,从而降低对储层的伤害。这有助于保持裂缝的畅通性,提高页岩气的开采效率。在页岩气开发的实际案例中,二氧化碳压裂技术已经取得显著的成效。这一技术的应用不仅提高了页岩气开发的经济效益,还为页岩气资源的可持续发展提供新的思路和方法。

4.2 在煤层气开发中的应用

二氧化碳压裂技术在煤层气开发中同样具有广泛的应用前景。煤层气作为一种重要的非常规油气资源,其储层通常具有低渗透性、高压力和高含水饱和度等特点,这使得煤层气的开采难度较大。而二氧化碳压裂技术则能够通过改变煤层储层的物理和化学性质,提高煤

层气的开采效率^[4]。在煤层气开发中,二氧化碳压裂技术能够显著降低煤层的起裂压力,并促进裂缝的形成和扩展,由于二氧化碳分子能够渗透到煤层的微裂缝中,通过膨胀作用使裂缝进一步扩展,形成更为复杂的裂缝网络。这不仅增加煤层的渗透率,还提高煤层气的流动性和可采性。二氧化碳压裂技术还能够促进煤层中甲烷的解吸和扩散,由于二氧化碳与煤层中的甲烷具有竞争吸附作用,能够置换出吸附在煤层表面的甲烷分子,从而提高煤层气的开采效率。二氧化碳的注入还能够降低煤层的含水饱和度,进一步提高煤层气的流动性。在煤层气开发的实际案例中,二氧化碳压裂技术已经取得了显著的成效。这一技术的应用不仅提高煤层气开发的经济效益,还为煤层气资源的可持续发展提供新的思路和方法。同时二氧化碳压裂技术还能够实现CO₂的地下封存,减少温室气体排放,具有重要的环保效益。

结束语

综上所述,二氧化碳压裂技术在我国非常规油气开发中具有重要的应用价值。该技术不仅能够有效提高储层的渗透率和原油采收率,还能够实现CO₂的地下封存,减少温室气体排放,具有重要的环保意义。随着技术的不断进步和应用的深入推广,二氧化碳压裂技术有望在非常规油气开发中发挥更加重要的作用,为我国能源产业的可持续发展做出更大贡献。

参考文献

- [1]邢川衡,刘艳涛,周日.新时期我国非常规油气开发二氧化碳压裂技术的分析[J].内江科技,2023,44(8):19-20.
- [2]郑焰,白小丹,罗于建,等.非常规油气二氧化碳压裂技术研究进展[J].中国石油和化工标准与质量,2019(3917):221-224.
- [3]王香增,孙晓,罗攀,穆景福.非常规油气CO₂压裂技术进展及应用实践[J].岩性油气藏,2019,31(02)北大核心 CSCD
- [4]宋远飞.二氧化碳干法压裂技术应用现状与发展趋势[J].化工设计通讯,2019(4312):71-75.