

二氧化碳减水压裂技术与常规压裂在煤层气开采中的效率对比

高 凯

川庆钻探长庆井下技术作业公司 陕西 榆林 719000

摘 要：二氧化碳减水压裂技术通过利用二氧化碳的压裂特性，实现在煤层气开采中的高效应用。该技术显著降低用水量，提高压裂效果，相较于常规压裂技术，具有更高的开采效率和更低的储层伤害。本文对比分析二氧化碳减水压裂技术与常规压裂在煤层气开采中的效率，结果表明，二氧化碳减水压裂技术能够更有效地促进煤层气的流动，为煤层气开采提供一种新的高效、环保的技术手段。

关键词：二氧化碳减水压裂技术；常规压裂；煤层气开采；效率对比

引言：煤层气作为一种重要的清洁能源，在能源结构中占据重要地位。然而，传统的煤层气开采技术，如常规压裂，存在用水量大、储层伤害大等问题。随着技术的发展，二氧化碳减水压裂技术逐渐崭露头角，其利用二氧化碳的低破压特性和易形成复杂裂缝的优势，有望提高煤层气的开采效率。本文将深入探讨二氧化碳减水压裂技术与常规压裂在煤层气开采中的应用效率。

1 煤层气开采技术概述

1.1 煤层气开采的基本原理

煤层气，一种在煤层内形成并被吸附的天然气，其主要成分为甲烷。这种气体的开采技术基于煤层内天然气的存储与释放特性。煤层气在横向和纵向上被煤层裂隙或孔隙中的水吸附，由于煤层下方的地质压力，煤层内的天然气在煤层顶部形成了一定的压力，使煤层内的天然气产生自然游离现象，引导煤层内的天然气排出是煤层气开采的基本原理。煤层气的开采与常规储气的开采有很大的差异。煤层由于处于较深的地底，比较潮湿，一些有利的天然气往往吸附在煤的表面。当煤层的压力降到煤层解吸压力的临界值，煤表面或者其中被吸附的甲烷就开始与煤进行分离，这个过程就叫做解吸。而解吸后形成的气体在基岩与微孔隙空进行扩散，然后经过煤层裂缝流向开采井筒。煤层气的开采过程中，需要通过特定的技术手段，如钻井、压裂等，来有效地引导这些气体的释放和收集。

1.2 常规压裂技术介绍

在煤层气勘探开发中，压裂改造作为一种重要的强化措施，已得到普遍应用。常规的煤层压裂技术，旨在通过人工方式增加煤层的渗透率，使煤层内的天然气更容易流向开采井筒。煤层压裂改造可以有效地将井孔与

煤层天然裂隙连通起来，从而在排水采气时，更广泛地分配井孔附近的压降，增加产能，增大气体解吸速率。这一技术包括了一系列复杂的工艺步骤，如完井技术、压裂设计技术、压裂液的研制、支撑剂的优选、压裂施工工艺技术等^[1]。完井技术中，通常采用全井下套管和低密度水泥浆固井工艺技术，以稳固井身并减少煤层污染。高密度深穿透射孔工艺技术则用于射开煤层或煤层和围岩，使射孔孔径和有效穿透距离最大化。压裂设计技术中，利用煤层气井三维压裂优化设计软件，可以设计出最优压裂方案，达到最佳压裂效果。压裂液的性能直接关系到压裂施工的成败及压后增产效果，因此需要研制出适合煤层的压裂液系列。支撑剂的选择，如天然石英砂，可以满足支撑裂缝要求，并改善煤层渗透性。压裂施工工艺技术则包括光套管注入压裂、适当增大前置液注入量、增大泵的注排量等步骤，以充分造缝、避免砂堵，并提高压裂液效率。裂缝监测工艺技术用于监测压裂裂缝的方位和几何尺寸，为优化压裂方案提供依据。最后，通过注入/压降试井、生产评价和经济评价等技术手段，可以对压裂效果进行评价。

1.3 二氧化碳减水压裂技术介绍

二氧化碳减水压裂技术，作为一种创新的煤层气开采技术，尤其适用于水资源匮乏的地区。这一技术利用了二氧化碳的低破压特性，易形成复杂裂缝，以及置换甲烷增产的技术优势，结合减水压裂的工艺优势，实现了高效、环保的煤层气开采。在二氧化碳减水压裂施工中，通常制定前置二氧化碳减水的策略，如前置1方二氧化碳减2方水、伴注1方二氧化碳减3方水等，为深层煤岩气开发水资源高效利用奠定坚实基础。例如，某公司在深层煤岩气水平井的压裂施工中，采用二氧化碳泡沫减

水压裂技术,成功减少大量压裂用水,综合减水率达到57.4%。该技术体系充分发挥二氧化碳压裂和减水压裂的双重优势,不仅提高了煤层气的开采效率,还显著降低对水资源的需求,符合我国的“双碳”战略目标,为煤层气开采的可持续发展提供新的途径。二氧化碳减水压裂技术的成功应用,进一步验证其在煤岩气井施工中的工艺优势,并为探索煤岩气经济提产压裂模式提供宝贵经验。

2 二氧化碳减水压裂与常规压裂技术对比

2.1 技术原理对比

二氧化碳减水压裂技术与常规压裂技术在技术原理上存在显著差异。常规压裂技术主要依赖水力压裂,利用高压水流将地层压开裂缝,随后注入支撑剂以维持裂缝的张开状态,从而提高地层的渗透率,使煤层气能够更顺畅地流向井筒。这一过程中,大量的水资源被消耗,且压裂液可能在地层中残留,对环境造成一定影响。相比之下,二氧化碳减水压裂技术则采用二氧化碳作为主要压裂介质,部分或全部替代传统压裂液中的水。在压裂过程中,二氧化碳在高压下被注入地层,由于其分子间作用力弱,具有超强的流动性,易于进入微孔隙和天然裂缝,形成复杂的裂缝网络,二氧化碳在地层压力和温度条件下以气态形式存在,大大减少了地层中压裂液的残留,降低了对地层的损害。

2.2 二氧化碳减水压裂技术原理分析

二氧化碳减水压裂技术的核心在于其独特的压裂介质——二氧化碳。二氧化碳具有多种有利于压裂的特性,二氧化碳的流动性好,能够更有效地进入地层的微小孔隙和裂缝,形成更广泛的裂缝网络。二氧化碳在地层条件下以气态存在,压裂后残余在地层中的液体量极少,减少了对地层的污染和损害。二氧化碳还具有增能助排的效果,能够提高油气采收率。在具体实施过程中,二氧化碳减水压裂技术通常包括前置二氧化碳压裂、伴注二氧化碳减水压裂等策略。前置二氧化碳压裂即在注入压裂液前,先注入液态二氧化碳作为前置液,利用其超强的流动性破裂地层和造缝。伴注二氧化碳减水压裂则是在压裂过程中同时注入二氧化碳和水,通过调整二氧化碳和水的比例,实现减水和提高压裂效率的目的^[2]。

2.3 成本与效益对比

从成本角度来看,二氧化碳减水压裂技术的初期投资可能高于常规压裂技术,这主要是由于二氧化碳的采购、储存和运输成本相对较高。从长远来看,二氧化碳减水压裂技术具有更高的经济效益。一方面,该技术

减少了水资源的消耗,降低了水资源成本;另一方面,由于压裂液在地层中的残留量极少,减少了后期清理和处理的费用。二氧化碳减水压裂技术还能提高油气采收率,增加产量,从而带来更高的收益。在环保效益方面,二氧化碳减水压裂技术具有显著优势。该技术减少了压裂液在地层中的残留,降低了对环境的污染。二氧化碳作为一种温室气体,通过地质埋存的方式被有效利用,有助于减少温室气体的排放,实现碳减排的目标。

3 二氧化碳减水压裂技术的优化与改进

3.1 技术参数的优化

二氧化碳减水压裂技术的优化首先体现在技术参数的精细化调整上。这一技术的核心在于利用二氧化碳的特殊物理和化学性质,以及其在压裂过程中的独特行为,来实现更有效的地层改造。因此对压裂过程中二氧化碳的注入压力、注入速率、注入量以及注入时间等参数的优化至关重要。在注入压力方面,需要综合考虑地层的破裂压力、二氧化碳的相变压力以及设备的承压能力,确保在既不损坏地层结构又能有效造缝的前提下,选择合适的注入压力。注入速率的优化则要求在保证二氧化碳能够充分进入地层微孔隙和裂缝的同时,避免过快的注入速率导致地层过度压实或压裂液泄漏。注入量的确定则需根据地层的地质特征、储层厚度以及预期的增产效果来综合评估,注入时间的优化也是提高压裂效果的关键,合理的注入时间可以确保二氧化碳在地层中有足够的停留时间,以充分发挥其增能助排和裂缝扩展的作用。

3.2 设备与工艺的改进

设备与工艺的改进是提升二氧化碳减水压裂技术效率和质量的重要途径。在设备方面,需要研发更高效、更稳定的二氧化碳注入设备,以提高注入效率和准确性。这包括改进二氧化碳的储存和运输设备,确保在压裂过程中能够连续、稳定地提供高质量的二氧化碳。还需要优化压裂设备的结构设计和材质选择,以提高设备的耐用性和适应性,降低维护成本^[3]。在工艺方面,可以探索更加精细化的压裂策略,如采用分段压裂、多层压裂等先进技术,以提高压裂的针对性和效率。还可以结合地质建模和数值模拟技术,对压裂过程进行更加精确的预测和控制,确保压裂效果的最大化。还需要加强压裂过程中的监测和评估,及时发现和解决潜在的问题,确保压裂作业的安全和顺利进行。

3.3 成本控制与经济效益的提升

成本控制是二氧化碳减水压裂技术推广应用的关键。为了降低技术成本,可以从多个方面入手。首先,

通过优化技术参数和设备选型,提高压裂作业的效率 and 准确性,减少不必要的浪费和损失。其次,加强技术研发和创新,探索更加经济、高效的压裂技术和方法,以降低技术门槛和成本。另外,还可以通过规模化采购、集中生产等方式,降低原材料和设备的采购成本,提高经济效益。在经济效益方面,二氧化碳减水压裂技术具有显著的优势。一方面,该技术能够显著降低水资源的消耗和环境污染,符合国家的环保政策和可持续发展战略,有助于提升企业的社会形象和品牌价值。另一方面,通过提高油气采收率和产量,该技术能够为企业带来更高的经济效益和市场竞争能力。二氧化碳减水压裂技术还可以与其他技术相结合,如地热开发、碳捕获与封存等,形成多元化的能源利用和环保产业链,进一步提升经济效益和社会效益。

4 二氧化碳减水压裂技术在煤层气开采中的效率分析

4.1 实验场地的选择与煤层气储层特征

在进行二氧化碳减水压裂技术在煤层气开采中的效率分析时,实验场地的选择至关重要。为了获取准确且具有代表性的数据,选取了一个具有典型煤层气储层特征的实验场地。该场地位于煤层气资源丰富、地质条件复杂的区域,其煤层厚度适中,储层渗透率较低,且含有较高的煤层气饱和度,是理想的实验对象。该实验场地的煤层气储层特征主要表现为:煤层厚度分布不均,但整体上具有一定的连续性;储层渗透率较低,存在明显的渗透屏障;煤层气主要以吸附态存在于煤基质中,且饱和度较高。这些特征使得该场地的煤层气开采难度较大,但同时也为二氧化碳减水压裂技术的应用提供了广阔的空间和潜力。

4.2 二氧化碳减水压裂技术在煤层气开采中的效果评估

在实验场地,采用了二氧化碳减水压裂技术进行煤层气开采实验。通过对比实验前后的数据,可以对该技术的效果进行客观评估。从增产效果来看,二氧化碳减水压裂技术显著提高煤层气的采收率,在压裂作业完成后,实验井的煤层气产量明显增加,增产幅度达到预期目标。这一成果不仅验证二氧化碳减水压裂技术在提高煤层气渗透率方面的有效性,也展示其在提升煤层气产量方面的巨大潜力。从环保效益来看,二氧化碳减水压裂技术显著减少水资源的消耗和压裂液的残留。与传统的水力压裂技术相比,该技术在水资源利用和环境保护方面具有显著优势。这不仅符合我国的环保政策和可

持续发展战略,也有助于提升企业的社会形象和品牌价值。还对实验过程中的能耗、设备利用率等进行了监测和分析。结果显示,二氧化碳减水压裂技术在能耗控制、设备维护等方面也表现出色,进一步提升了其经济性和实用性。

4.3 实验结果的可靠性分析

为了确保实验结果的可靠性和准确性,采取多种措施对实验结果进行验证和校核。首先,采用多种技术手段对实验数据进行采集和分析,这包括使用高精度传感器对煤层气产量、压力等关键参数进行实时监测,以及采用先进的数值模拟方法对实验过程进行模拟和预测。这些技术手段的应用不仅提高实验数据的准确性和可靠性,也为后续的数据分析和结果评估提供有力支持^[4]。其次,邀请多位专家对实验结果进行评审和验证。这些专家来自不同的领域和背景,具有丰富的专业知识和实践经验。他们通过对实验数据的分析、对比和讨论,对实验结果的可靠性和准确性进行全面评估,并提出宝贵的意见和建议。另外,还对实验过程中的潜在风险和不确定性进行充分评估。通过制定详细的应急预案和风险管理措施,确保实验过程的安全性和可控性,进一步提升实验结果的可靠性。

结束语

二氧化碳减水压裂技术在煤层气开采中展现出了相较于常规压裂技术的显著优势。其不仅有效降低水资源消耗,还显著提高煤层气的开采效率,降低对储层的伤害。随着技术的不断进步和应用的深入,二氧化碳减水压裂技术有望为煤层气开采带来更加高效、环保的解决方案,推动煤层气产业的可持续发展。未来,应继续加强该技术的研发与应用,为能源行业的绿色发展贡献力量。

参考文献

- [1]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.
- [2]杨琦.氮气泡沫压裂技术在煤层气井重复压裂中的应用[J].能源化工,2022,43(06):23-27.
- [3]杨攀,王国玲,史红玲,等.CO₂压裂技术在煤层气开发中的应用展望[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2022(5):4-5.
- [4]郭亚军.浅谈煤层气开采工艺现状及发展策略[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(14):143-145.