

体积压裂多分支裂缝支撑剂运移规律

袁 杰

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：体积压裂技术在油气开采中举足轻重，其通过创建复杂的多分支裂缝网络显著提升油气开采效率。支撑剂在这些裂缝中的运移规律直接关联到裂缝的稳定性和油气导流能力。影响支撑剂运移的关键因素有压裂流体性质、压力差异及地质条件等。针对这些因素，提出一系列优化措施，如改善支撑剂运移效率、精选支撑剂种类与浓度，并强化实时监测与控制手段。通过这些策略，旨在确保支撑剂均匀分布并稳固支撑裂缝，进而提升油气开采的效率和产量。

关键词：体积压裂技术；多分支裂缝；支撑剂运移规律；优化措施

1 体积压裂技术的基本概念

体积压裂技术，作为现代油气田开发中的一项关键技术，旨在通过人为方式在地下岩层中创造出复杂的三维裂缝网络，从而大幅度提高油气藏的渗透性和连通性。这一技术的核心在于利用高压水力压裂或其他压裂介质，在目标岩层中施加超过其破裂压力的压力，使得岩层发生破裂并形成裂缝。与传统的线性压裂技术相比，体积压裂技术具有显著的优势。首先，它能够在目标区域内产生大量细小且分布广泛的裂缝，从而形成更加密集、复杂的裂缝网络，增加了油气运移的路径，有助于提高采收率。其次，这些细小的裂缝使得油气的渗流面积大幅增加，减少了油气流动过程中的阻力，进一步提高油气的采出效率。体积压裂技术通常需要根据地层性质、应力场分布和流体动力学条件等因素进行精心设计。在实施过程中，需要精确控制压裂液的注入压力、流量和注入时间等参数，以确保裂缝网络的形成符合设计要求。为了实现有效的支撑，往往还需向裂缝中注入特定规格的支撑剂，以防止裂缝闭合^[1]。总的来说，体积压裂技术是一项高效的油气开发技术，它能够通过创造复杂的裂缝网络，显著提升油气藏的渗透性和连通性，为油气田的高效开发提供了有力支持。

2 体积压裂技术在油气开采中的重要性

体积压裂技术在油气开采中扮演着至关重要的角色。随着传统油气田资源逐渐枯竭，开发低渗透、低孔隙度的复杂油气藏成为当前油气开采领域的重要趋势。而体积压裂技术正是解决这一难题的关键技术之一。体积压裂技术能够在地下岩层中形成复杂的裂缝网络，极大地增加油气藏的渗流面积，从而显著提高油气藏的渗透性和连通性。这种技术使得原本难以开采的油气资源得以被有效开发，不仅提高油气藏的开采效率和产量，

也延长油气田的经济寿命。体积压裂技术还具备适应性强、操作灵活等特点。它能够根据不同油气藏的地质条件和开发需求，灵活调整压裂方案，以达到最佳的开采效果。同时，体积压裂技术还能够与其他油气开采技术相结合，形成更加高效、环保的开采模式。体积压裂技术在油气开采中的重要性不言而喻。它不仅能够提高油气藏的开采效率和产量，还能够促进油气田资源的有效利用和可持续发展。因此，在未来的油气开采中，体积压裂技术将继续发挥重要的作用，为油气行业的发展注入新的动力。

3 支撑剂运移规律对提高油气开采效率的意义

支撑剂运移规律对提高油气开采效率具有重要的意义。支撑剂，在压裂过程中被注入到形成的裂缝中，起到保持裂缝张开状态、防止裂缝闭合的作用，从而确保油气能够顺畅地通过裂缝网络流动到井筒中。因此，深入了解和研究支撑剂在裂缝网络中的运移规律，对于优化压裂设计、提高油气开采效率至关重要。第一，掌握支撑剂运移规律有助于实现更精准的压裂施工。通过了解支撑剂在不同裂缝结构、不同流体动力条件下的运移特征，工程师们能够更准确地预测裂缝的扩展形态和支撑剂的分布状态，从而设计出更加符合地层条件的压裂方案，确保压裂施工达到预期的效果^[2]。第二，优化支撑剂运移规律能够提高裂缝网络的导流能力。支撑剂在裂缝中的有效分布能够形成稳定的支撑结构，保持裂缝的张开状态，增加油气流动的有效通道。通过调整支撑剂的注入参数、选择合适的支撑剂类型，可以优化支撑剂在裂缝网络中的运移和分布，从而提高裂缝网络的导流能力，进一步增加油气的采出量。第三，支撑剂运移规律的研究对于延长油气井的开采寿命也具有积极的意义。在油气井的长期开采过程中，裂缝的张开状态和导

流能力可能会随着时间的推移而发生变化。通过研究支撑剂的运移规律，可以及时发现并采取相应的措施，对裂缝网络进行维护和修复，保持其良好的导流性能，从而延长油气井的开采寿命。

4 多分支裂缝支撑剂运移规律的影响因素分析

4.1 压裂流体性质对支撑剂运移的影响

压裂流体的性质是影响支撑剂运移的关键因素之一，它直接决定了支撑剂在裂缝中的分布情况和稳定性。

4.1.1 流体粘度

流体粘度是影响支撑剂运移的重要因素。在压裂过程中，高粘度的流体能够更好地携带支撑剂颗粒，防止其在输送过程中过早沉淀或形成堵塞。这有助于保证支撑剂在裂缝中的均匀分布，提高裂缝的支撑效果和导流能力。过高的粘度也会增加流体的内摩擦力，降低其在裂缝中的流动性，从而限制支撑剂向远端裂缝的运移。在压裂设计中需要合理选择流体粘度，以实现支撑剂在裂缝中的最佳分布。

4.1.2 流体密度

流体密度对支撑剂运移的影响主要体现在浮力和阻力的相互作用上。低密度的流体能够减小支撑剂颗粒的沉降速度，使其在裂缝中保持悬浮状态更长时间，有利于实现支撑剂的均匀分布。过低的流体密度也可能导致支撑剂在裂缝中过早沉淀或形成堆积，从而降低裂缝的支撑效果和导流能力。因此，在压裂设计中需要根据地层条件和裂缝形态合理选择流体密度。

4.2 压力差异对支撑剂运移的影响

4.2.1 裂缝内压力分布

裂缝内压力的分布情况直接影响支撑剂的运移轨迹和分布状态。在压裂过程中，随着压裂流体的注入，裂缝内的压力逐渐升高。由于裂缝网络结构的复杂性，不同位置的裂缝可能存在较大的压力梯度。这些压力梯度会推动支撑剂向低压区运移，从而形成不均匀的分布。因此，在压裂设计中需要考虑裂缝内压力的分布情况，通过合理控制注入压力、调整裂缝网络结构等方式，实现支撑剂在裂缝中的均匀分布^[3]。

4.2.2 井筒与裂缝间的压力差

井筒与裂缝间的压力差也是影响支撑剂运移的重要因素。当井筒内的压力高于裂缝内的压力时，支撑剂会受到向上的驱动力而向裂缝内运移。然而，如果压力差过大，可能导致支撑剂颗粒在裂缝口处形成堆积或堵塞，影响裂缝的导流能力。因此，在压裂过程中需要合理控制井筒与裂缝间的压力差，通过调整注入速度、控制注入压力等方式，实现支撑剂在裂缝内的顺畅运移。

4.3 温度、地质条件等因素的影响分析

4.3.1 温度

温度是影响支撑剂运移的重要环境因素之一。一方面，温度的变化会影响流体的粘度、密度等性质，从而影响支撑剂的运移效果。另一方面，温度的变化还可能导致地层岩石的物理性质发生变化，如岩石的热膨胀、热收缩等，这些变化会进一步影响裂缝的稳定性和支撑剂的运移。因此，在压裂设计中需要考虑温度因素的影响，通过合理调整压裂参数和采取相应的保护措施来应对温度变化对支撑剂运移的影响。

4.3.2 地质条件

地质条件是影响支撑剂运移的基础性因素。地层岩石的性质、裂缝网络的发育程度、地应力分布等因素都会影响支撑剂的运移轨迹和分布状态。例如，岩石的硬度、脆性等性质会影响裂缝的扩展和支撑剂的破碎程度；裂缝网络的发育程度会影响支撑剂在裂缝中的扩散范围和分布均匀性；地应力分布的不均衡性会导致裂缝网络的复杂性增加，从而影响支撑剂的运移路径和稳定性。因此，在压裂设计中需要充分了解地层的地质条件，通过精细的地质勘察和裂缝建模等方式来指导压裂设计和优化^[4]。

5 体积压裂多分支裂缝支撑剂运移规律优化措施

在油气勘探与开发的实践中，体积压裂技术以其独特的优势——能够创造复杂且高效的多分支裂缝网络，被广泛应用于提高油气井的产能和采收率。体积压裂过程中支撑剂的运移规律直接关系到裂缝的张开度、稳定性以及油气的导流能力，因此对支撑剂运移规律的优化显得尤为重要。

5.1 提高支撑剂运移效率的技术措施

在体积压裂过程中，提高支撑剂运移效率是实现高效开发的关键。（1）优化压裂流体体系。压裂流体在压裂过程中起着至关重要的作用，它不仅要为裂缝的形成提供足够的能量，还需要将支撑剂有效输送到裂缝网络中。因此，需要选择具有良好悬浮性和流动性的压裂流体体系，确保支撑剂在输送过程中能够均匀分布，避免沉淀和堵塞。针对特定地层条件和储层物性，可以通过调整压裂流体的配方，提高其与储层的配伍性，降低流体在地层中的阻力，从而提高支撑剂的运移效率。（2）引入先进的压裂施工技术。随着科技的进步，越来越多的先进压裂施工技术被应用于实践中。例如，脉冲压裂技术能够通过快速释放和恢复压力的方式，在裂缝中形成更多细小的分支裂缝，增加裂缝网络的复杂性和导流能力；水力喷射压裂技术则能够在不改变井眼轨迹的情

况下,实现定向压裂,使裂缝更加精准地扩展到目标储层。这些技术的引入能够更好地控制裂缝的扩展方向和形态,使支撑剂能够更加均匀地分布在裂缝网络中,提高运移效率。(3)采用智能化压裂控制系统也是提高支撑剂运移效率的有效手段。该系统能够实时监测压裂过程中的各项参数,如注入压力、排量、温度等,并根据实时监测数据自动调整压裂参数,实现对压裂过程的精确控制。这不仅可以确保支撑剂在裂缝网络中的均匀分布,还可以避免因人为操作失误而导致的压裂效果不佳的情况发生。

5.2 优化支撑剂选择与浓度设计

在选择支撑剂时,需要充分考虑其物理性质、化学稳定性以及成本效益等因素。不同种类的支撑剂具有不同的抗压强度、密度和粒度分布等特性,这些特性将直接影响支撑剂在裂缝中的分布和稳定性。因此,在选择支撑剂时需要根据具体地层条件和压裂需求进行综合评价和筛选^[5]。支撑剂的浓度设计也是至关重要的。过高的支撑剂浓度可能导致裂缝网络中的空隙被过多填充而降低裂缝的导流能力;而过低的支撑剂浓度则可能导致裂缝无法得到有效支撑而发生闭合。因此,在设计支撑剂浓度时需要根据裂缝网络的形态、大小以及地层渗透性等因素进行综合考虑和计算确定一个合理的浓度范围以确保支撑剂在裂缝网络中的均匀分布和稳定支撑。

5.3 加强实时监测与控制手段

在体积压裂多分支裂缝的支撑剂运移过程中,实时监测与控制手段对于确保支撑剂运移规律优化和压裂效果达到预期至关重要。这些手段不仅提供了裂缝网络形态和扩展情况的实时信息,还有助于精准掌握支撑剂的运移路径和分布情况,进而指导压裂施工的精确调整和优化。为实现有效的实时监测,可采用一系列先进的技术和方法。首先,微地震监测技术通过捕捉压裂过程中产生的微地震事件,分析裂缝网络的扩展情况,为评估裂缝网络发育程度提供数据支持。其次,裂缝诊断技术,如井间电阻率成像或超声波测井等,能够揭示裂缝网络的详细结构,有助于预测支撑剂的运移路径和分布情况。另外,示踪剂技术通过注入特定物质(如荧光剂

或放射性同位素)追踪支撑剂的运移,为优化施工方案提供直观依据。在实时监测的基础上,需要加强对压裂施工过程的控制。引入先进的自动化控制系统,可以实现压裂参数的自动调节和优化,确保施工过程按照预设计方案进行。结合智能化决策支持系统,可以根据实时监测数据实时分析裂缝网络的动态变化,动态调整施工方案,如注入压力、注入速度等参数,以确保支撑剂在裂缝网络中的均匀分布和稳定支撑。加强实时监测与控制手段的应用,不仅能够提高压裂施工的效率 and 安全性,还能够降低施工风险,优化压裂效果。这对于实现油气储层的高效开采具有重要意义。因此,应不断探索和应用先进的监测与控制技术,为油气勘探与开发提供更强有力的技术支持。

结束语

随着油气勘探与开发的不断深入,体积压裂技术作为提高油气采收率的关键技术之一,正面临越来越多的挑战和机遇。优化支撑剂运移规律作为提升压裂效果的重要途径,不仅需要精细的地质勘察和科学的压裂设计,更需要先进的监测与控制技术的支持。未来,随着技术的不断进步和创新,相信能够更加有效地掌握支撑剂运移规律,实现油气资源的高效开采和可持续利用。

参考文献

- [1]张祝新,吴佳朋,蒙文,等.体积压裂+渗吸采油技术研究及其在沧东凹陷深层低渗透油藏中的应用[J].录井工程,2020,31(z1):135-139.
- [2]李文涛.大规模压裂技术在特低渗透油藏开发中的应用与认识[J].内蒙古石油化工,2020,46(4):70-73.
- [3]邵冬军.大规模压裂技术在不同类型油藏应用效果对比分析[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(16):154-155,162.
- [4]任建棚,宁金生,郭凯凯,等.压裂技术原理及其在油田的应用[J].中国科技投资,2021(20):118,139.
- [5]马玉娟.大庆长垣油田三类油层压裂驱油提高采收率技术及其应用[J].大庆石油地质与开发,2021,40(2):103-109.