

复杂地质条件下油气藏水力压裂策略及实践

姚学普

中石化中原石油工程有限公司井下特种作业公司 河南 濮阳 457000

摘要: 随着油气勘探开发的不断深入,复杂地质条件下的油气藏开发成为行业面临的重要挑战。水力压裂作为提高油气井产能的有效手段,在复杂地质条件下需要更加精细和策略性的应用。本文旨在探讨复杂地质条件下油气藏水力压裂的策略与实践,分析不同地质特征对压裂效果的影响,并提出相应的技术优化建议,以期对相关领域的研究与实践提供参考。

关键词: 复杂地质条件; 油气藏; 水力压裂; 策略; 实践

引言

复杂地质条件下的油气藏往往具有储层非均质性强、天然裂缝发育、地应力分布复杂等特点,这些特点对水力压裂技术的设计与实施提出了更高要求。水力压裂通过向储层注入高压液体,诱发储层岩石破裂,形成人工裂缝,从而增加油气储层的渗透性和流动性。在复杂地质条件下,如何制定有效的压裂策略,确保压裂效果与经济效益的最大化,是当前油气开发领域亟待解决的问题。

1 复杂地质条件下油气藏的特点

1.1 储层非均质性强

复杂地质条件下的油气藏储层往往具有强烈的非均质性,表现在岩石物理性质、孔隙结构、渗透率等方面的差异。这种非均质性对水力压裂的影响主要体现在裂缝起裂与扩展的不确定性,以及裂缝形态和分布的复杂性。

1.2 天然裂缝发育

天然裂缝的存在对水力压裂过程具有双重影响。一方面,天然裂缝可以作为人工裂缝的扩展路径,有助于增加裂缝网络的复杂性;另一方面,天然裂缝也可能导致压裂液的滤失和裂缝的无效扩展,降低压裂效果。

1.3 地应力分布复杂

地应力是影响水力压裂裂缝起裂和扩展方向的关键因素。在复杂地质条件下,地应力分布往往呈现出较强的非均匀性和各向异性,这使得压裂设计更加困难。

2 水力压裂策略的制定

2.1 压裂液体系的选择

在复杂地质条件下进行油气藏的水力压裂时,压裂液的选择是至关重要的一环。这是因为储层岩石的复杂性、裂缝系统的多变性以及地层流体的特性都对压裂液提出了特定的要求。因此,针对这些复杂的地质条件,我们必须精心挑选和设计压裂液体系。首先,携砂能力

是评价压裂液性能的重要指标之一。在水力压裂过程中,压裂液需要携带大量的支撑剂(通常是砂粒)进入裂缝,以防止裂缝闭合。这就要求压裂液具有良好的悬浮性和稳定性,以确保支撑剂能够均匀分布在裂缝中。其次,低滤失性是另一个关键要求。在高压下,压裂液会通过岩石的孔隙和裂缝滤失到地层中。如果滤失量过大,不仅会降低压裂效果,还可能对地层造成损害。因此,我们需要选择那些具有高粘度和良好封堵性能的压裂液,以减少滤失。此外,对储层岩石的低伤害性也是选择压裂液时需要考虑的因素之一。某些压裂液成分可能与岩石发生反应,导致岩石强度降低或产生有害的副产物。为了避免这种情况,我们需要选择那些与储层岩石相容性好的压裂液,并在必要时进行室内实验来评估压裂液对岩石的影响。最后,流变性能和与储层流体的配伍性也是不容忽视的因素。压裂液的流变性能会直接影响到其在裂缝中的流动行为和支撑剂的携带能力。而与储层流体的配伍性则关系到压裂后油气藏的产能和开采效率^[1]。因此,在选择压裂液时,我们需要综合考虑这些因素,以确保压裂液能够满足复杂地质条件下油气藏开发的需求。针对复杂地质条件下的油气藏特点,选择适当的压裂液体系是至关重要的。我们需要综合考虑携砂能力、低滤失性、对储层岩石的低伤害性以及流变性能和与储层流体的配伍性等因素,以确保压裂过程的有效性和安全性。

2.2 压裂参数的优化

在复杂地质条件下的油气藏开发中,压裂参数的优化是确保压裂效果和经济效益最大化的关键环节。这些参数,包括注入压力、注入速率、裂缝长度和宽度等,每一项都对压裂效果产生深远影响。注入压力的选择直接关系到裂缝的形成和扩展。压力过低可能无法有效破裂岩石,形成足够的裂缝网络;而压力过高则可能导致

裂缝过度扩展,甚至引发地层破裂,带来安全风险。因此,注入压力的优化必须根据储层的物理特性、地应力分布以及裂缝发育情况来综合确定。注入速率的控制同样重要。过快的注入速率可能导致压裂液在裂缝中的不均匀分布,影响支撑剂的铺设效果;而过慢的注入速率则会延长压裂作业时间,增加成本。因此,注入速率的优化需要在确保裂缝充分扩展的前提下,尽量提高作业效率。裂缝长度和宽度的确定则直接影响到压裂后油气藏的渗流能力。过短的裂缝长度和过窄的裂缝宽度可能无法提供足够的渗流通道,导致产能提升有限;而过长的裂缝长度和过宽的裂缝宽度则可能增加无效裂缝的比例,造成资源浪费。因此,裂缝长度和宽度的优化需要综合考虑储层的渗流特性、裂缝发育规律以及产能预测结果。为了实现压裂参数的有效优化,我们通常采用数值模拟和现场试验相结合的方法。数值模拟可以帮助我们理解压裂过程中裂缝的形成和扩展机制,预测不同参数组合下的压裂效果;而现场试验则可以验证数值模拟的准确性,为实际压裂作业提供直接指导。通过这种理论与实践相结合的方法,我们可以更加精准地优化压裂参数,实现复杂地质条件下油气藏的高效开发。

2.3 裂缝监测与评估

实施水力压裂后,为了确保压裂效果及油气开采的顺利进行,对裂缝的形态和分布进行实时监测与评估是至关重要的。这一过程不仅关乎油气藏的产能提升,更是保障整个开采过程安全、高效的关键环节。裂缝监测主要依赖于多种先进的技术手段。其中,地震监测能够通过捕捉地层中由裂缝扩展引发的微弱震动信号,来揭示裂缝的发育情况和扩展方向。微地震监测则更进一步,能够精确定位微裂缝的产生位置,为分析裂缝网络提供宝贵数据。声波测井技术则利用声波在岩石中的传播特性,来推断裂缝的宽度、密度等关键参数。这些监测手段所获取的数据,对于评估压裂效果具有不可替代的作用。通过对裂缝几何参数(如长度、宽度、高度等)的定量分析,我们可以直观地了解压裂作业对储层改造的效果。而裂缝的动态信息(如扩展速度、闭合情况等)则为我们提供了判断压裂作业是否达到预期目标的重要依据。此外,裂缝监测与评估的结果还为后续的油气开采策略调整提供了有力支持。根据裂缝的实际发育情况,我们可以针对性地优化开采方案,如调整井网布局、选择合适的开采工艺等,以实现油气藏的高效、安全开发^[2]。裂缝监测与评估在水力压裂后的油气开采中扮演着举足轻重的角色。通过综合运用地震监测、微地震监测、声波测井等先进技术手段,我们能够全面、准

确地掌握裂缝的形态和分布信息,为油气藏的高效开发提供坚实的数据支撑。

3 水力压裂实践中的技术挑战与解决方案

3.1 技术挑战

在复杂地质条件下实施水力压裂,无疑是一项技术上的巨大挑战。其中,储层的识别与评价困难首当其冲。由于地质条件的复杂性,储层的分布、厚度、物性等方面都呈现出极大的不均匀性和不确定性,这使得储层的准确识别和评价变得异常困难。而储层信息的缺失或不准确,又会直接影响到压裂设计的合理性和压裂效果的有效性。此外,天然裂缝的干扰也是水力压裂面临的一大难题。在复杂地质条件下,天然裂缝往往发育广泛且形态各异,这些裂缝的存在不仅会影响压裂液的流动和分布,还可能导致压裂过程中的人工裂缝与天然裂缝相互干扰,使得裂缝的扩展方向和形态变得难以预测和控制。同时,压裂液的适应性差也是一个不容忽视的问题。由于不同地质条件下的储层岩石性质和流体性质差异较大,这就要求压裂液具有良好的适应性和配伍性。然而,在实际应用中,我们往往会发现某些压裂液在某些特定地质条件下的性能表现并不理想,甚至会对储层造成损害。最后,裂缝扩展的不确定性也是水力压裂面临的一大技术挑战。由于地质条件的复杂性和多变性,裂缝的扩展过程往往受到多种因素的影响,如地应力分布、岩石力学性质、压裂液性能等。这些因素的综合作用使得裂缝的扩展方向和形态充满了不确定性,给压裂设计和实施带来了极大的困难。

3.2 解决方案

3.2.1 加强储层地质研究

在复杂地质条件下进行水力压裂,储层地质研究的加强是提高压裂效果的关键。由于复杂地质条件下储层非均质性强、物性差异大,给储层的识别与评价带来了极大的挑战。因此,我们必须通过深入的地质研究,来揭示储层的分布规律、物性特征和油气赋存状态。一方面,要加强地质勘探工作,获取丰富的储层地质资料。通过钻井、测井、地震勘探等手段,获取储层的岩性、物性、含油气性等信息,为储层识别与评价提供基础数据。另一方面,要运用先进的地质分析技术,对储层进行精细刻画。利用地质统计学、地球物理反演、三维地质建模等方法,对储层的空间展布、内部结构、物性参数等进行定量描述,提高储层识别的精度和评价的可靠性。再者,还要注重储层动态监测与分析。通过生产动态数据、压力监测数据、流体分析数据等,实时掌握储层的变化规律和油气运移特征,为压裂设计和实施提供

动态依据。加强储层地质研究是提高复杂地质条件下水力压裂效果的重要途径^[3]。通过深入的地质勘探、精细的地质分析和动态的储层监测,我们可以更加准确地识别储层、评价储层性能,为压裂设计和实施提供有力的地质支持。这将有助于提高压裂作业的针对性和有效性,实现油气藏的高效开发。

3.2.2 利用先进的地震成像和测井技术

在复杂地质条件下实施水力压裂,天然裂缝的存在往往对压裂效果产生重要影响。为了更加准确地识别天然裂缝的分布特征,我们可以充分利用先进的地震成像和测井技术。地震成像技术,尤其是三维地震成像,能够提供高分辨率的地层结构图像,帮助我们清晰地识别出天然裂缝的位置、走向和规模。通过对地震数据的精细处理和解释,我们可以揭示出天然裂缝系统的空间展布规律和发育特征,为压裂设计提供重要参考。测井技术则是获取井筒附近地层信息的重要手段。通过声波测井、电阻率测井、成像测井等多种测井方法的综合应用,我们可以获取丰富的地层岩石物理参数和裂缝信息。这些数据不仅可以帮助我们识别出井筒附近的天然裂缝,还能为我们提供裂缝的密度、开度、充填情况等详细信息。利用先进的地震成像和测井技术,我们可以更加准确地识别天然裂缝的分布特征,为水力压裂设计和实施提供有力支持。这将有助于我们更好地预测和控制裂缝的扩展行为,优化压裂方案,提高压裂效果,实现油气藏的高效开发。同时,这些技术的应用也将推动我们对复杂地质条件下油气藏开发规律的深入认识和理解。

3.2.3 研发新型高性能压裂液体系,提高压裂液的适应性和携砂能力;

在复杂地质条件下的水力压裂作业中,压裂液的性能对压裂效果起着至关重要的作用。为了应对不同地质条件的挑战,我们需要不断研发新型高性能压裂液体系,以提高其适应性和携砂能力。第一,通过深入研究储层岩石的物理化学特性,我们可以针对性地设计压裂液的配方。新型压裂液应具备良好的流变性能,能够在

不同温度和压力下保持稳定的粘度,以确保在裂缝中形成有效的携砂通道。同时,压裂液的滤失性能也需要得到优化,以减少在储层中的滤失量,提高压裂效率。第二,为了增强压裂液的适应性,我们可以考虑引入一些特殊的添加剂。例如,针对高含水或高含盐度的储层,我们可以添加相应的防水或抗盐添加剂,以提高压裂液在这些极端条件下的稳定性。此外,还可以添加一些表面活性剂或润湿剂,以改善压裂液与储层岩石的相容性,降低对储层的伤害。第三,携砂能力是评价压裂液性能的重要指标之一^[4]。为了提高携砂能力,我们可以优化压裂液的悬浮性能,使支撑剂能够在压裂液中均匀分布并稳定携带。同时,还可以考虑引入一些新型的携砂剂或增稠剂,以提高压裂液的携砂效率和裂缝的导流能力。通过研发新型高性能压裂液体系,我们可以有效提高压裂液的适应性和携砂能力,为复杂地质条件下的水力压裂作业提供有力的技术支持。这将有助于实现油气藏的高效、安全开发,推动石油工业的持续发展。

结语

复杂地质条件下的油气藏水力压裂是一项具有挑战性的工作。通过制定针对性的压裂策略、优化压裂参数、加强裂缝监测与评估等措施,可以有效提高水力压裂的效果和经济效益。未来随着科技的进步和新型材料的研发,相信水力压裂技术将在复杂地质条件下的油气藏开发中发挥更大的作用。

参考文献

- [1]李凯凯,安然,瞿春等.超低渗透油藏暂堵压裂技术优化研究[J].石油化工应用,2023,42(11):44-47+67.
- [2]席鑫.低渗透油藏暂堵压裂增产技术研究与应用[C]//宁夏回族自治区科学技术协会,2020:2.
- [3]宋文.新时期石油开采对酸化压裂技术的创新利用[J].石化技术,2021,28(01):141-142.
- [4]方晓明.新时期石油开采对酸化压裂技术的创新利用[J].石化技术,2020,27(07):56+58.