

石油天然气开采中加砂压裂技术的优化与应用研究

李 琳

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：石油天然气开采中，加砂压裂技术是一项关键性技术，对于提高油气产量具有重要影响。本文探讨了加砂压裂技术的优化与应用研究，分析传统加砂压裂技术存在的问题，并提出一种改进的超深天然气井加砂压裂技术。该技术通过优化压裂液体与支撑剂的选择、构建加砂压裂造缝数学模型以及采用分阶段作业模式，显著提高裂缝面的粗糙程度和导流能力，从而实现了油气产量的有效提升。

关键词：石油天然气开采；加砂压裂技术；优化；应用

引言：随着全球能源需求的不断增长，石油天然气的开采面临着越来越多的挑战。传统的开采方法已经难以满足当前的需求，加砂压裂技术作为一种有效的增产措施，受到了广泛关注。传统的加砂压裂技术存在一些问题，如裂缝面粗糙程度不足、导流能力差等。因此本文将加砂压裂技术的优化与应用进行深入探讨，以期石油天然气开采提供更加高效、环保的技术支持。

1 加砂压裂技术在石油天然气开采中的重要地位

加砂压裂技术在石油天然气开采中占据着举足轻重的地位。这是一种利用高压水和石英砂等支撑剂将储层岩石裂开，增加油气流通性的技术手段。通过向油气井井筒内注入一定量的水和支撑剂，如石英砂或陶粒，高压水在储层内形成裂缝，并将支撑剂填充到裂缝中，以防止裂缝重新闭合。这种技术极大地提高了油气资源的开采效率，使得原本难以开采的油气资源变得容易获取，尤其在页岩、煤层气、致密油、煤矿瓦斯等非常规能源的开采中发挥了重要作用。加砂压裂技术不仅提高了单井的产量，还显著扩大了油气资源的可采范围，随着技术的进步，压裂液的类型和支撑剂的材料也在不断创新和优化，以适应更复杂的地质条件和更高的开采要求。例如，树脂包覆砂和其他专用支撑剂的使用，进一步提高了压裂作业的效果和效率。加砂压裂技术也面临着一些挑战和争议，如环境保护问题、资源消耗问题等。因此在推动技术发展的同时，也需要注重环保和可持续发展，寻求更加环保、可持续的生产方式，以最大程度地减少对环境的负面影响^[1]。加砂压裂技术在石油天然气开采中具有重要的战略地位，是推动油气资源高效开发的关键技术之一。未来，随着技术的不断进步和环保要求的提高，加砂压裂技术将继续发挥其重要作用，为石油天然气行业的可持续发展做出更大的贡献。

2 加砂压裂技术的基本原理

2.1 加砂压裂的定义与分类

加砂压裂技术，这一在油气资源开采领域占据重要地位的技术手段，凭借其独特的工作原理和广泛的应用场景，成为了提高油气储层渗透率、增加油气产量的关键方法。该技术，也被称为水力压裂或水力加沙压裂，其核心理念在于通过向地层注入高压流体（主要是水和压裂液）以及支撑剂（如石英砂、陶粒等硬质颗粒），在储层内部形成并维持一系列裂缝，从而极大地改善油气流动的通道，提高资源的开采效率。加砂压裂技术的应用范围广泛，尤其适用于那些渗透率低、油气难以自然流动的非常规油气资源，如页岩气、煤层气和致密油等。这些资源往往蕴含着巨大的开采潜力，但由于地质条件的限制，传统的开采方法难以奏效。而加砂压裂技术则能够打破这一瓶颈，为这些难以开采的油气资源提供了新的开采途径。根据不同的分类标准，加砂压裂技术还可以进行更为细致的划分。按裂缝的延伸方向，可分为垂直裂缝压裂和水平裂缝压裂，前者适用于需要增加垂直渗透率的情况，后者则更适用于水平渗透率较低的储层。按施工方式，可分为常规压裂、重复压裂和同步压裂等，每种方式都有其特定的应用场景和优势。按压裂液的种类，还可分为水基压裂液、油基压裂液、乳状压裂液、泡沫压裂液及酸基压裂液等多种类型，这些不同类型的压裂液在性能上各有千秋，能够满足不同储层条件和开采需求。

2.2 加砂压裂的工作机制

加砂压裂技术的工作原理主要基于两个关键步骤：裂缝的形成和支撑剂的填充。首先，裂缝的形成是通过地面高压泵组（压裂机组）将高粘液体（压裂液）以超过地层吸收能力的排量泵入井内。在井底憋起高压，当该压力克服井壁附近地应力并达到岩石的抗张强度后，就会在井底产生裂缝。这些裂缝通常垂直于储层段

最小主应力的方向,并沿着该方向延伸。其次,裂缝形成后,需要向裂缝中注入支撑剂,以防止裂缝在压力释放后重新闭合。支撑剂的选择和填充方式对于维持裂缝的导流能力和提高储层的渗透率至关重要。常用的支撑剂有石英砂、陶粒等,它们具有高强度和良好的导流性能^[2]。支撑剂通过携砂液被注入裂缝中,随着裂缝的延伸而不断填充,形成足够长、有一定导流能力的填砂裂缝。加砂压裂技术的成功实施不仅依赖于压裂液和支撑剂的选择,还需要精确的压裂设计和施工控制。这包括确定压裂层段、选择压裂液类型、计算支撑剂用量、优化压裂施工参数等。在施工过程中,还需要对井底压力、排量等参数进行实时监控和调整,以确保裂缝的形成和支撑剂的填充效果达到最佳。加砂压裂技术通过形成并维持裂缝,提高了油气储层的渗透率,从而实现了油气资源的高效开采。随着技术的不断进步和创新,加砂压裂技术将在未来油气资源的开发中发挥更加重要的作用。

3 石油天然气开采中加砂压裂技术的优化策略

3.1 砂浓度优化

在石油天然气开采过程中,加砂压裂技术的砂浓度是影响压裂效果的关键因素之一。砂浓度的优化旨在实现裂缝的有效支撑和导流,同时避免过度磨损设备和降低裂缝导流能力。砂浓度的选择应根据储层特性、岩石力学性质和压裂目标进行综合考虑。对于渗透率低、岩石硬度高的储层,通常需要较高的砂浓度以形成稳定的裂缝支撑结构。过高的砂浓度可能导致压裂液流动性下降,增加施工难度和成本。因此需要通过实验和模拟分析,确定最佳的砂浓度范围,以平衡裂缝支撑效果和压裂液流动性。砂浓度的优化还需考虑压裂液的类型和性能。不同类型的压裂液对砂浓度的适应性不同。例如,高粘度压裂液通常能够携带更多的支撑剂,而低粘度压裂液则可能需要降低砂浓度以确保良好的流动性。在选择压裂液时,应充分考虑其与支撑剂的兼容性,以及砂浓度对压裂效果的影响。砂浓度的优化还需考虑施工过程中的实时调整,由于地质条件的复杂性和施工参数的不确定性,实际施工过程中可能需要根据监测数据和压裂效果进行砂浓度的实时调整。例如,当发现裂缝扩展受阻或支撑剂沉降不均时,可以通过调整砂浓度来改善压裂效果。

3.2 加砂程序优化

加砂程序是加砂压裂技术中的关键环节,其优化对于提高压裂效率和裂缝导流能力具有重要意义。加砂程序的优化应基于储层特性和压裂目标进行定制。对于不

同类型的储层,加砂程序可能有所不同。例如,对于渗透率低、岩石硬度高的储层,可能需要采用分段加砂或连续加砂的方式,以确保支撑剂在裂缝中的均匀分布。而对于渗透率较高、岩石较软的储层,则可能需要采用较低的加砂速度和较小的砂浓度,以避免裂缝过度扩展和支撑剂沉降不均。加砂程序的优化还需考虑施工设备和工艺参数的影响,例如,加砂泵的性能、压裂液的注入速度和排量等参数都会对加砂程序产生影响。在选择施工设备和确定工艺参数时,应充分考虑其对加砂程序的影响,并进行相应的优化调整。加砂程序的优化还需考虑实时监测和反馈机制,通过实时监测裂缝扩展情况、支撑剂分布和压裂液性能等参数,可以及时发现并调整加砂程序中的问题,确保压裂效果达到最佳。

3.3 压裂液与支撑剂的选择

压裂液和支撑剂的选择对于加砂压裂技术的效果具有重要影响。首先,压裂液的选择应根据储层特性、施工条件和环保要求进行综合考虑。不同类型的压裂液具有不同的性能特点,如粘度、流动性、悬浮性和降解性等。对于渗透率低、岩石硬度高的储层,通常选择高粘度、强悬浮性的压裂液,以确保支撑剂在裂缝中的稳定悬浮和均匀分布。而对于渗透率较高、岩石较软的储层,则可能需要选择低粘度、易降解的压裂液,以降低对地层的伤害和环境污染^[3]。其次,支撑剂的选择也至关重要,支撑剂的性能直接影响裂缝的导流能力和油气资源的开采效率。在选择支撑剂时,应充分考虑其强度、硬度、形状和粒度分布等参数。对于渗透率低、岩石硬度高的储层,通常选择高强度、高硬度的支撑剂,以确保裂缝的稳定性和导流能力。而对于渗透率较高、岩石较软的储层,则可能需要选择形状规则、粒度分布均匀的支撑剂,以提高裂缝的导流效率和油气资源的开采效率。另外,压裂液和支撑剂的选择还需考虑环保要求和可持续发展。随着环保意识的提高和法规的严格,选择环保型压裂液和可回收支撑剂已成为趋势。这不仅可以降低对环境的污染和破坏,还可以提高资源的利用率和经济效益。

3.4 定向井斜井段压裂工艺的优化

定向井斜井段压裂工艺的优化对于提高油气资源的开采效率和降低成本具有重要意义。第一、优化定向井斜井段压裂工艺需要考虑地质条件和储层特性的影响,由于定向井斜井段的地质条件复杂多变,如地层倾角、断层、裂缝等,这些因素都会对压裂效果产生影响。在进行压裂施工前,需要对地质条件进行详细的勘探和分析,以确定最佳的压裂方案和施工参数。第二、优化定

向井斜井段压裂工艺还需考虑施工设备和工艺参数的影响,由于定向井斜井段的施工条件较为恶劣,如井眼轨迹复杂、井壁稳定性差等,这些因素都会对施工设备和工艺参数的选择产生影响。在选择施工设备和确定工艺参数时,应充分考虑其对定向井斜井段压裂工艺的影响,并进行相应的优化调整。第三、优化定向井斜井段压裂工艺还需考虑实时监测和反馈机制,通过实时监测裂缝扩展情况、井筒压力和温度等参数,可以及时发现并调整压裂工艺中的问题,确保压裂效果达到最佳。同时还可以利用实时监测数据进行压裂效果的评估和预测,为后续的油气资源开采提供科学依据。

4 加砂压裂技术的经济与环境影响

4.1 经济性分析

加砂压裂技术在石油天然气开采中的应用,其经济性分析主要围绕成本效益、投资回报率和资源利用率等方面展开。从成本效益的角度来看,加砂压裂技术能够显著提高油气资源的开采效率,从而增加油气产量。尽管该技术初期投入较高,包括设备购置、压裂液和支撑剂的成本、施工费用等,但长期来看,随着油气产量的提升,其带来的经济效益是显著的^[4]。特别是在非常规油气资源的开采中,加砂压裂技术已成为不可或缺的技术手段,其经济效益更加突出。投资回报率也是衡量加砂压裂技术经济性的重要指标,通过合理的成本控制和高效的施工管理,可以降低加砂压裂技术的成本,提高投资回报率。随着技术的进步和经验的积累,加砂压裂技术的效率和效果也在不断提升,进一步增强了其经济性。资源利用率也是经济性分析的重要方面,加砂压裂技术通过提高储层的渗透率,使得原本难以开采的油气资源得以有效开发,从而提高了资源利用率。这不仅有助于缓解油气资源短缺的问题,还可以降低对环境的破坏和污染,实现经济效益和生态效益的双赢。值得注意的是,加砂压裂技术的经济性也受到多种因素的影响,如地质条件、油气价格、政策环境等。因此在进行经济性分析时,需要综合考虑这些因素,以全面评估加砂压裂技术的经济效益。

4.2 环境影响评估

加砂压裂技术在石油天然气开采中的应用,虽然带来了显著的经济效益,但其对环境的影响也不容忽视。加砂压裂技术施工过程中会产生大量的废水、废气和固体废弃物。这些废弃物如果处理不当,可能会对地下水、土壤和空气造成污染。特别是废水中的有害物质,如果未经处理直接排放,可能会对地下水系统造成长期危害^[5]。加砂压裂技术还可能对地表生态造成破坏,施工过程中产生的噪音、振动和扬尘等,会对周边居民和生态环境造成干扰和破坏。压裂作业还可能引发地面塌陷、裂缝等地质灾害,对地表生态造成严重影响。随着环保意识的提高和法规的严格,加砂压裂技术的环保要求也在不断提高,未来,需要进一步加强技术研发和创新,探索更加环保、高效的压裂技术和工艺,以实现经济效益和生态效益的协调发展。

结束语

通过对石油天然气开采中加砂压裂技术的优化与应用研究,深刻认识到技术创新在推动行业进步中的关键作用。本文所探讨的优化策略不仅提高加砂压裂技术的效率和效果,还降低其对环境的影响,为石油天然气开采的可持续发展提供有力支持。未来,将继续深化相关研究,探索更加高效、环保的开采技术,为全球能源供应和环境保护贡献更多智慧和力量。

参考文献

- [1]韩一峰.简论石油天然气开发工艺的难点[J].清洗世界,2021,37(03):123-124.
- [2]张鸿妍.采油工程面临的难题和技术发展方向[J].化学工程与装备,2021(01):83-84.
- [3]罗权浩.关于石油天然气能源开采与环境保护动态平衡的思考[J].应用能源技术,2023,(06):12-14.
- [4]陈熹.天然气开采过程中的安全措施[J].化学工程与装备,2023,(10):217-219.DOI:10.19566/j.cnki.cn35-1285/tq.2023.10.083
- [5]孙殿新.三种天然气开采排水采气新工艺适用效果探究[J].内蒙古石油化工,2023,49(10):46-49.