

天然气井压裂施工中的压力控制技术研究

张明浪 纪 炜

陕西延长石油(集团)有限责任公司延长气田采气二厂 陕西 榆林 718500

摘 要: 本文深入探讨了天然气井压裂施工中的压力控制技术,包括压力监测、调控与预测技术。首先概述了压裂施工的基本原理及天然气井地质特征与压裂施工的关联性。并详细分析了压力控制在常规天然气井、页岩气井和致密气井中的应用,并通过实际案例展示了压力控制技术的成功应用。文章展望了压力控制技术的发展趋势,强调了人工智能、大数据和物联网等新兴技术的重要性,并提出了未来研究方向与建议。

关键词: 天然气; 井压裂施工; 压力控制技术

1 天然气井压裂施工基础理论

1.1 压裂施工的基本原理

压裂施工是天然气井开采过程中的一项关键技术,其基本原理是通过对油气层施加高压水力能量,使储层岩石产生裂缝,从而增加储层渗透率,提高油气井的产量。具体来说,压裂施工过程中,将高压流体(通常是含有支撑剂的水基或油基压裂液)注入井筒,并沿射孔孔道进入储层。当注入压力超过储层岩石的破裂压力时,岩石会沿着最薄弱的层面或裂缝开始扩展,形成新的裂缝或扩大原有裂缝。随着压裂液的持续注入,裂缝会逐渐延伸并充满支撑剂,支撑剂在裂缝中起到保持裂缝张开度的作用,即使在停止注入后,也能使裂缝保持一定的导流能力,从而有效改善储层的渗透性。

1.2 天然气井地质特征与压裂施工的关联性

天然气井的地质特征对压裂施工的效果具有重要影响。地质特征主要包括储层的岩石类型、孔隙结构、渗透率、地层压力、温度以及裂缝发育情况等。这些特征直接决定了压裂施工的难易程度、裂缝的扩展方向以及压裂后的增产效果。例如,储层的岩石强度和脆性对裂缝的形成和扩展有直接影响,岩石越脆,越容易形成复杂裂缝网络;而储层的渗透率则影响压裂液的滤失速度和裂缝的充填效果。另外,地层压力和温度也会影响压裂液的物性,如粘度、流动性等,从而影响压裂施工的效果^[1]。因此,在进行压裂施工前,必须充分了解储层的地质特征,并根据实际情况制定合理的压裂施工方案,以确保压裂施工的成功和增产效果的最大化。

2 天然气井压裂施工中的压力控制技术

2.1 压力监测技术

压力监测技术是天然气井压裂施工中的基础,它通过对施工过程中井筒和储层压力变化的实时监测,为施工人员提供关键的数据支持,以确保压裂施工的安全性

和有效性。压力监测通常涉及多个方面,包括井筒压力监测、储层压力监测以及裂缝扩展压力监测等。井筒压力监测主要通过安装在井筒内的压力传感器实现,它可以实时监测井筒内的流体压力变化,帮助施工人员判断压裂液注入的进展情况。储层压力监测则通过储层测试井或专门的监测井进行,以获取储层的原始压力和压裂过程中的压力变化,从而评估压裂效果。此外,裂缝扩展压力监测是通过分析裂缝形成和扩展过程中的压力变化,来指导压裂施工方案的调整。为了实现高精度的压力监测,需要采用先进的传感器和数据采集系统。这些系统应具备高灵敏度、高精度和抗高温高压等特性,以确保在恶劣的井下环境中仍能准确、稳定地工作。同时,数据采集系统还应具备实时传输和处理数据的能力,以便施工人员能够及时了解压裂施工过程中的压力变化,并作出相应的调整。

2.2 压力调控技术

压力调控通常包括节流控制、压力调节阀应用和注入速率调整等方面。节流控制是通过在压裂液注入管线上安装节流装置,如节流阀或节流孔板,来调节压裂液的流动速度和压力。压力调节阀则是一种自动调节装置,它可以根据预设的压力范围自动调整阀门的开度,以保持井筒和储层内的压力稳定。注入速率调整则是通过改变压裂泵的排量或调整注入管线的直径等方式,来控制压裂液的注入速率。在实际操作中,压力调控需要根据储层的地质特征、压裂施工方案以及实时监测到的压力数据等因素进行综合判断和调整。施工人员需要具有丰富的经验和专业知识,以确保压力调控的准确性和有效性。此外,随着智能化技术的发展,越来越多的自动化和智能控制系统被应用于天然气井压裂施工中,以实现更加精确和高效的压力调控。

2.3 压力预测技术

压力预测技术是天然气井压裂施工中的重要辅助手段,它通过对储层地质特征和压裂施工方案的深入分析,结合历史数据和模拟实验等手段,来预测压裂施工过程中的压力变化,为施工人员提供前瞻性的指导。压力预测通常涉及地质模型建立、流体动力学模拟以及数据分析等方面。地质模型建立是通过地质勘探和储层评价等手段,获取储层的岩石类型、孔隙结构、渗透率等地质参数,并建立相应的地质模型。流体动力学模拟则是基于地质模型,利用流体动力学原理和数值模拟软件,对压裂施工过程中的流体流动和压力变化进行模拟和预测。数据分析则是对模拟结果和历史数据进行深入分析和对比,以验证预测模型的准确性和可靠性。通过压力预测技术,施工人员可以在压裂施工前对储层的压裂潜力进行评估,制定合理的施工方案和应急措施^[2]。同时,在压裂施工过程中,压力预测技术还可以为施工人员提供实时的压力和裂缝扩展情况的预测,以便他们及时调整施工方案和应对突发情况。这不仅可以提高压裂施工的安全性和效率,还可以最大限度地发挥储层的增产潜力。

3 压力控制技术在不同类型天然气井中的应用

3.1 常规天然气井压裂压力控制

常规天然气井通常位于地质结构相对简单、储层渗透率较高的地层中,因此其压裂施工的压力控制技术相对较为成熟。然而,这并不意味着常规天然气井的压裂施工可以忽略压力控制的重要性。相反,为了确保压裂施工的安全性和效率,必须对井筒和储层的压力进行精确控制。在常规天然气井的压裂施工中,压力监测技术是关键。通过实时监测井筒和储层的压力变化,施工人员可以及时了解压裂液的注入进展情况,从而调整压裂施工方案。另外,压力调控技术也至关重要。施工人员需要根据实时监测到的压力数据,合理调整节流装置、压力调节阀和注入速率,以保持井筒和储层内的压力稳定。同时,为了确保压裂施工的安全性,还需要制定应急预案,以应对可能出现的压力异常或突发事件。在常规天然气井的压裂施工中,压力预测技术也发挥着重要作用。通过对储层地质特征和压裂施工方案的深入分析,结合历史数据和模拟实验等手段,可以预测压裂施工过程中的压力变化,为施工人员提供前瞻性的指导。这不仅可以提高压裂施工的成功率,还可以降低施工成本和风险。

3.2 页岩气井压裂压力控制

页岩气井的压裂施工相比常规天然气井更为复杂,因为页岩储层通常具有低渗透率、高脆性和强非均质性

等特点。这些特点使得页岩气井的压裂施工需要更高的压力和更复杂的压裂技术。在页岩气井的压裂施工中,压力控制技术的要求更高。首先,由于页岩储层的脆性较强,容易出现裂缝起裂和扩展不均匀的情况,因此需要对压力进行更精确的控制。其次,页岩储层的渗透率较低,压裂液的滤失速度较慢,因此需要采取更有效的压力调控措施来确保压裂液的注入效率和裂缝的充填效果^[3]。

3.3 致密气井压裂压力控制

致密气井的压裂施工同样面临诸多挑战,因为致密储层通常具有低渗透率、高孔隙压力和高含气饱和度等特点。这些特点使得致密气井的压裂施工需要更高的压力和更大的注入量。在致密气井的压裂施工中,压力控制技术的要求同样很高。首先,由于致密储层的渗透率极低,压裂液的滤失速度非常快,因此需要采取更有效的压力调控措施来保持井筒和储层内的压力稳定。其次,由于致密储层的孔隙压力较高,压裂施工需要更高的注入压力来克服地层阻力,形成有效的裂缝。

4 压力控制技术应用案例分析

4.1 案例一:国内某大型页岩气田压裂施工项目

在该页岩气田的压裂施工中,压力控制技术发挥了至关重要的作用。施工前,团队利用先进的数值模拟软件和地质模型,对储层的裂缝发育情况和压裂液的滤失速度进行了预测。预测结果显示,储层具有强非均质性,裂缝易沿软弱层扩展,因此制定了多级压裂施工方案,并确定了不同压裂阶段的压力范围和注入速率。施工中,团队采用了高精度压力传感器和实时数据采集系统,对井筒和储层的压力进行了实时监测。当监测到压力异常升高时,立即调整了节流装置和压力调节阀的开度,有效控制了压力的波动。根据实时监测到的压力数据和裂缝扩展情况,对压裂液的注入速率和排量进行灵活调整,确保压裂液的有效注入和裂缝的均匀扩展。施工后,通过对压裂效果的评估发现,裂缝网络复杂且分布均匀,储层渗透率显著提高,增产效果显著。该案例的成功经验在于压力控制技术的优化组合和施工参数的合理调整,为后续页岩气田的压裂施工提供有益的借鉴。

4.2 案例二:靖某上古层位压裂作业实例

靖某井上古层位压裂作业中,遭遇了压力管理的复杂难题。压裂施工启动前,施工人员凭借详尽的地质勘探和储层评估工作,掌握了储层低渗透性,参考邻井压裂施工压力高的特性,据此设计高强度压裂作业方案,并设定了较高的注入压力及排量标准。在施工过程中,施工技术人员采用尖端的压力管理系统,该系统能实时解析压力数据,并据此调节节流设备与压力调节阀的开

合程度。另外,还采用了持续高压水力压裂工艺,旨在形成更宽广的裂缝和更高的渗透率。作业完成后,经对压裂成效的综合评估,证实储层渗透率有了显著提升,增产效果圆满达成预设目标。此案例的成功秘诀在于压力管理系统的智能化以及高效的压力管理的高效性,为后续压力管理树立了宝贵范例。

5 天然气井压裂施工中的压力控制技术发展趋势与展望

5.1 新技术发展趋势

在天然气井压裂施工领域,压力控制技术的革新正受到人工智能(AI)、大数据、物联网(IoT)等新兴技术的深刻影响,这些技术的应用前景广阔且充满潜力。

(1) 人工智能与智能压力控制系统:人工智能技术的引入,使得压力控制系统朝着智能化方向迈进。智能压力控制系统能够利用机器学习算法,对大量历史数据进行训练和学习,从而实现对压力变化的精准预测和智能调控。这种系统能够根据实时监测的压力数据,自动调整节流装置、压力调节阀等设备的工作状态,确保井筒和储层内的压力始终保持在安全、高效的范围内。另外,AI技术还能帮助施工人员识别并应对潜在的施工风险,如压力异常升高或降低,进一步提升施工安全性和效率^[4]。

(2) 大数据与压力预测优化:大数据技术为天然气井压裂施工提供了前所未有的数据分析和处理能力。通过对历史压裂施工数据、地质数据、压裂液性能数据等进行深度挖掘和分析,可以构建出更加精确的压力预测模型。这些模型能够预测不同压裂阶段、不同地质条件下的压力变化趋势,为施工人员提供科学的决策依据。同时,大数据技术还能帮助优化压裂施工方案,如调整注入速率、压裂液配方等,以达到最佳压裂效果。通过将井筒、储层、压力调控设备等关键环节连接起来,物联网技术实现了对施工过程的全面监控和数据采集。这不仅提高了数据收集的准确性和时效性,还为施工人员提供了更加直观、全面的施工视图,有助于他们更好地掌握施工进展,及时做出调整。

5.2 未来研究方向与建议

面对天然气井压裂施工压力控制技术的不断发展,

未来研究应聚焦于以下几个方面:第一,继续深化人工智能技术在压力控制系统中的应用。通过不断学习和优化算法,提升智能压力控制系统的预测精度和调控能力,使其更加适应复杂多变的施工环境。同时,探索将深度学习、强化学习等先进技术引入到压力控制领域,进一步提升系统的智能化水平。第二,大数据技术的应用也需进一步深化。应建立更加完善的数据收集、处理和分析体系,提高数据质量和可用性。加强对大数据算法和模型的研究,开发出更加精确、高效的压力预测模型,为施工方案制定和优化提供更加有力的支持。第三,物联网技术在天然气井压裂施工中的应用也值得进一步探索。应加强对物联网设备的研发和优化,提高设备的稳定性和可靠性。构建更加完善的物联网网络体系,实现对施工过程的全面监控和数据采集。这将有助于施工人员更好地掌握施工进展,及时发现问题并做出调整,确保施工过程的安全性和效率。第四,建议加强跨学科合作与创新。天然气井压裂施工压力控制技术的革新需要多学科知识的交叉融合。未来应加强与地质学、机械工程、计算机科学等领域的合作与交流,共同推动压力控制技术的创新与发展。

结束语

综上所述,天然气井压裂施工中的压力控制技术对于提高油气井的产量至关重要。随着新兴技术的不断发展,压力控制技术将朝着更加智能化、高效化的方向发展。未来,应继续深化相关技术的研究与应用,加强跨学科合作与创新,共同推动天然气井压裂施工技术的革新与进步,为油气资源的开发利用贡献力量。

参考文献

- [1] 苏文杰,权珊珊,赵国斌,等.天然气气井钻井安全管理实效性分析[J].化工设计通讯,2020,46(5):258,262.
- [2] 王中华.对中国钻井液处理剂及钻井液体系发展的认识[J].钻井液与完井液,2023(4):35-38.
- [3] 吕军,钟水清,刘若冰,等.钻井液对井壁稳定性的影响研究[J].钻采工艺,2022(3):74-75,81,127.
- [4] 罗鸣,高德利,黄洪林,等.钻井液对页岩力学特性及井壁稳定性的影响[J].石油钻采工艺,2022,44(6):693-700.