

石油射孔技术优化与油气井产能提升研究

邵 恒

中石化经纬有限公司胜利测井公司 山东 东营 257000

摘要：石油射孔技术作为油气井开发中的关键环节，其优化对于提升油气井产能具有重要意义。本文旨在探讨石油射孔技术的优化策略及其对油气井产能的影响，通过理论分析和技术探讨，提出有效的优化方案，以期对油气井产能提升提供理论支撑和技术指导。

关键词：石油射孔技术；油气井产能；技术优化；射孔参数；射孔方式

引言

石油射孔技术是通过专用射孔弹穿透套管及水泥环，建立地层与井筒之间的连通渠道，从而促使储层流体进入井筒的工艺过程。随着油气田开发的不断深入，射孔技术的优化成为提高油气井产能的重要途径。本文将从射孔技术的原理出发，探讨射孔参数、射孔方式等方面的优化策略，并分析其对油气井产能的影响。

1 石油射孔技术原理及多维度影响因素剖析

1.1 射孔技术核心原理

石油射孔技术，作为油气井完井作业中的关键环节，其原理基于高能炸药爆炸所释放的巨大能量。当炸药在特定条件下引爆时，会产生一股高速、高温的射流。这股射流以极高的速度和压力作用于油气井管道的内壁，瞬间穿透管壁、水泥环乃至部分地层岩石，形成一条或多条连通地层与井筒的孔道。此过程不仅要求射孔弹具备足够的穿透力和爆破能量，以确保孔道的顺利形成，还需精心设计射孔参数，以保障射孔后孔道的结构稳定性和流体（如油气）在孔道中的高效流动。

1.2 影响因素分析

射孔技术对油气井产能的提升效果，并非单一因素所能决定，而是多种因素共同作用的结果。其中，射孔参数的选择至关重要。射孔深度决定了孔道能够穿透地层的深度，进而影响油气资源的开采效率；孔径的大小则直接关系到流体通过孔道的流量和流速；而孔密，即单位长度井筒上的孔道数量，则影响着流体流动的均匀性和地层压力的分布。此外，射孔方式的选择也对产能有着显著影响。正压射孔是在井筒内保持一定压力的情况下进行射孔，有助于防止地层流体在射孔过程中大量涌入井筒，造成井涌等安全问题。而负压射孔则是在井筒内形成负压环境后进行射孔，有助于减少射孔过程中对地层的损害，提高孔道的导流能力。地层特性，如渗透率、孔隙度等，也是影响射孔效果的重要因素。渗透

率高的地层，流体流动更为顺畅，产能自然更高；而孔隙度则决定了地层中能够储存流体的空间大小，对产能同样有着重要影响。最后，射孔过程中可能产生的地层损害也不容忽视。如射孔弹爆炸产生的震动和冲击波可能对地层造成裂缝或破坏，进而影响孔道的稳定性和流体的流动效率。因此，在射孔作业中，需综合考虑上述因素，以优化射孔方案，提升油气井的产能。^[1]

2 石油射孔技术优化策略

2.1 射孔参数优化

2.1.1 射孔深度

射孔深度的优化需要基于详尽的地层分析和储层流体特性研究。首先，通过地质勘探和物性分析，确定污染带的具体位置和厚度。污染带通常包含钻井液、固相颗粒等外来物质，这些物质会降低地层的渗透率，影响流体的流动。因此，射孔深度应确保孔道能够完全穿透污染带，使地层中的流体能够无障碍地流入井筒^[1]。同时，还需考虑地层压力、流体粘度、流体密度等因素，以及开采过程中的生产压力和温度变化，通过数值模拟和实地测试，确定最佳的射孔深度范围，确保地层与井筒之间的有效连通。

2.1.2 孔径与孔密

孔径和孔密的优化是提升流体流动效率的关键。大孔径的射孔方式能够显著增加流体流动的通道面积，降低流体在孔道中的流动阻力，从而提高地层的渗透率。在实际应用中，应根据地层的渗透率、孔隙度、流体性质以及开采需求，确定最佳的孔径大小。同时，高孔密的射孔方式能够增加单位长度井筒上的孔道数量，使流体在地层中的流动更加均匀，减少地层压力的局部集中，有助于提高油气井的产能。为了优化孔密，可以通过数值模拟和物理实验，研究不同孔密下流体流动的特性，确定最佳的孔密分布。

2.1.3 相位角与布孔格式

射孔弹的相位角和布孔格式对射孔过程中的地层损害具有显著影响。相位角是指射孔弹在井筒中的排列方向,合理的相位角设计可以减小射孔弹爆炸时产生的震动和冲击波对地层的破坏。在实际应用中,可以通过数值模拟和物理实验,研究不同相位角下射孔弹爆炸对地层的损害程度,选择最优的相位角。同时,布孔格式决定了孔道在井筒周围的分布情况,均匀的布孔格式有助于实现地层压力的均衡分布,减少地层损害和流体流动的不均匀性。为了优化布孔格式,可以根据地层的地质特征、开采历史以及流体流动的特性,设计不同的布孔方案,并通过数值模拟和实地测试进行评估和比较,选择出最佳的布孔格式。^[2]

2.2 射孔方式优化

负压射孔技术和油管输送射孔技术作为石油射孔技术中的两种重要方式,各自具有独特的优势和适用场景。通过深入探索和实践这两种技术,可以进一步优化射孔方式,提升油气井的产能和开采效率。

2.2.1 负压射孔技术

负压射孔技术是一种通过降低井筒液面压力,形成负压环境来进行射孔作业的方法。其核心原理在于,当井筒内的液面压力低于地层压力时,地层中的流体(如油气)会向井筒内流动,形成负压环境。在这种环境下进行射孔作业,可以有效地清除射孔过程中产生的碎屑和污染物,提高孔道的清洁度。具体来说,负压射孔技术的优势主要体现在以下几个方面:(1)清洁孔道:负压环境有助于将射孔过程中产生的碎屑和污染物及时排出井筒,避免它们堵塞孔道或影响流体的流动。这不仅可以提高孔道的导流能力,还能延长油气井的生产寿命。(2)保护地层:负压射孔减少了射孔弹爆炸对地层的冲击和破坏,有助于保护地层的完整性和稳定性。这对于渗透率较低或地层较为脆弱的地层尤为重要^[2]。(3)提高产能:清洁的孔道和完整的地层有助于提高油气井的产能。负压射孔技术通过优化射孔环境,为流体提供了更顺畅的流动通道,从而提升了油气井的开采效率。在实际应用中,负压射孔技术适用于各种地层条件和开采需求。特别是在地层渗透率较低、污染较严重或需要保护地层完整性的情况下,负压射孔技术能够发挥显著的优势。

2.2.2 油管输送射孔技术:增强安全性与灵活性,应对复杂地层挑战

油管输送射孔技术是一种通过油管将射孔器输送到预定位置进行射孔作业的方法。与电缆输送射孔相比,油管输送射孔技术具有更高的安全性和灵活性,适用于

复杂地层和深井射孔作业。其优势主要体现在以下几个方面:(1)提高安全性:油管输送射孔技术避免了电缆在井筒中的长距离拖动和摩擦,减少了电缆断裂或短路等安全隐患。同时,油管作为射孔器的载体,具有更强的抗压能力和稳定性,能够确保射孔作业的安全进行。

(2)增强灵活性:油管输送射孔技术适用于各种复杂地层和深井条件。通过调整油管的长度和直径,可以灵活应对不同井深和地层特性的需求。此外,油管还可以作为其他井下作业的通道,如测井、注水泥等,提高了井下作业的效率 and 灵活性。(3)提升射孔效率和准确性:油管输送射孔技术能够确保射孔器准确到达预定位置,并进行精确的射孔作业。这不仅可以提高射孔的效率,还能确保孔道的准确性和均匀性,为后续的开采作业奠定良好的基础。在实际应用中,油管输送射孔技术广泛应用于复杂地层、深井、超深井以及水平井等场景下。特别是在需要高精度射孔或井下作业环境较为恶劣的情况下,油管输送射孔技术能够发挥显著的优势。

2.3 地层损害控制

在石油射孔作业中,地层损害是一个不容忽视的问题。射孔过程中若处理不当,很可能导致地层渗透率下降,进而影响油气井的长期产能。因此,必须严格控制射孔液的性能和注入压力,并采取合适的完井液和防砂措施,以保护射孔孔道,确保油气井的高效开采。首先,射孔液的性能至关重要。射孔液不仅要具备良好的携砂能力,以便将射孔过程中产生的碎屑及时带出井筒,还要与地层流体相兼容,避免对地层造成不必要的损害。为此,应精心选择射孔液的配方,确保其具有适当的粘度、密度和润湿性。同时,射孔液的注入压力也需严格控制,以避免过高的压力对地层造成压裂或破坏。其次,完井液的选择同样关键。完井液作为油气井开采过程中的重要工作液,其性能直接影响着井筒的稳定性和地层的保护效果。在选择完井液时,应充分考虑地层的特性、流体性质以及开采需求,确保完井液具有良好的密封性、润滑性和防腐性。通过合理的完井液设计,可以有效减少地层流体的流失,保护射孔孔道的完整性,从而提高油气井的产能和稳定性^[3]。最后,防砂措施也是地层损害控制中不可或缺的一环。在射孔作业完成后,应采取有效的防砂措施,如安装防砂筛管、注入防砂剂等,以防止地层砂粒随流体进入井筒,造成孔道堵塞或设备磨损。通过科学的防砂设计,可以确保射孔孔道的长期畅通,为油气井的持续高效开采提供有力保障。地层损害控制是石油射孔作业中不可或缺的一环。通过精细管理射孔液的性能和注入压力、选择合适的完井液以

及采取有效的防砂措施,可以有效减少射孔过程中对地层的损害,提高油气井的长期产能和稳定性。^[3]

3 射孔技术优化对油气井产能的影响

射孔技术作为油气井开采过程中的关键一环,其优化程度直接影响着油气井的产能、生产寿命以及油气田的可持续发展。通过精细化调整射孔参数、改进射孔方式以及实施有效的地层损害控制措施,可以为油气开采的高效、安全、可持续进行提供有力保障。这不仅有助于提升油气井的产能和经济效益,还为油气田的长期发展注入了新的活力和动力。

3.1 提升流体流动效率:射孔技术优化的直接效应

射孔参数和射孔方式的优化是提升流体流动效率的关键。首先,通过精确调整射孔深度、孔径与孔密,我们可以确保射孔孔道穿透污染带,与地层实现有效连通。这不仅增加了流体流动的通道数量,还扩大了通道面积,从而显著降低了流体在孔道中的流动阻力。大孔径的设计使得流体能够更顺畅地流入井筒,提高了地层的渗透率,进而提升了油气井的产能。其次,优化射孔方式,如采用负压射孔技术,可以进一步清除射孔过程中的碎屑和污染物,保持孔道的清洁度。这有助于减少流体在孔道中的堵塞和摩擦,提高流体的流动速度。同时,油管输送射孔技术的应用也提高了射孔的准确性和灵活性,确保了孔道的均匀性和导流能力,为流体的高效流动提供了有力保障。

3.2 延长油气井生产寿命:射孔技术优化的长期效益

合理的射孔技术优化不仅能够提升油气井的产能,还能显著延长其生产寿命。通过严格控制射孔液的性能和注入压力,我们可以有效减少射孔液对地层的损害。这避免了地层渗透率的降低和孔道的堵塞,确保了油气井的长期稳产。此外,优化射孔技术还注重地层损害的预防和控制。采用合适的完井液和防砂措施,可以保护射孔孔道免受地层砂粒和流体的侵蚀。这减少了井筒的

维护成本,避免了因孔道堵塞或设备磨损而导致的停产风险,从而提高了油气井的经济效益和生产寿命。

3.3 促进油气田可持续发展:射孔技术优化的战略意义

射孔技术的优化不仅局限于单个油气井的产能提升和生产寿命延长,更在于其对整个油气田可持续发展的深远影响。首先,通过提高采收率和资源利用效率,射孔技术优化有助于最大化地利用油气资源,减少资源的浪费和损耗。这对于油气资源日益紧张的当下具有重要意义,为油气田的长期发展提供了有力支撑^[4]。其次,射孔技术的优化还降低了开发成本和环境影响。通过提高射孔作业的效率 and 准确性,可以减少不必要的开采成本和时间投入。同时,优化射孔技术还注重环境保护,采用环保型的射孔液和完井液,减少了对地层的污染和破坏。这有助于实现油气开采与环境保护的和谐共生,为油气田的可持续发展奠定了坚实基础。^[4]

结语

石油射孔技术的优化对于提升油气井产能具有重要意义。通过合理确定射孔参数、优化射孔方式、控制地层损害等措施,可以显著提高油气井的流体流动效率和产能。未来,随着技术的不断进步和创新,射孔技术将在油气田开发中发挥更加重要的作用,为油气资源的可持续利用提供有力保障。

参考文献

- [1]柏中秋.影响石油射孔弹穿孔深度的几个主要因素[J].化学工程与装备,2019,(09):136+138.
- [2]陈旭东.石油工程现场施工中分簇式射孔技术应用[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(11):163-165.
- [3]天工.中石油集团射孔重大技术现场试验告捷[J].天然气工业,2018,38(12):101.
- [4]张小石,王宪升,喻翔.石油射孔弹威力计算与设计[J].化学工程与装备,2022,(05):105-107.