

水平井固井质量提升工艺技术分析

县世东

中海油田服务股份有限公司油田化学事业部 新疆 库尔勒 841000

摘要：水平井固井质量提升技术作为石油勘探开发中的关键环节，其重要性不言而喻。影响固井质量的因素多元复杂，涉及地质、井眼轨迹、水泥浆体系、固井工艺工程和操作等多个层面。针对这些挑战，优化井眼轨迹、钻井液性能、合理的套管扶正器加放位置、优化套管串设计、固井工艺创新以及实时监测与智能调控等技术手段正逐步应用于实践中，并取得显著成效。随着钻井工艺智能化、环保化和个性化需求的不断增长，水平井固井工艺技术将日趋高效、成熟和精准，为石油工业的可持续发展提供有力支撑。

关键词：水平井固井；质量；技术分析

1 水平井固井工艺流程概述

水平井固井工艺流程是石油勘探和开发过程中至关重要的环节，它直接关系到油井的安全性、稳定性和生产效率。固井工艺始于钻井作业完成后，需要对所钻开的裸眼地层进行有效的封固，首先需要进行钻井液的对井眼的清洁，确保井筒的干净，井眼平滑、无台阶、轨迹平稳、充分利用泥浆循环清洗井眼，确保井底无沉砂，洁净，以便后续套管串能够顺利下到设计的深度，使水泥浆能够顺利注入并均匀分布。根据地层特性和工程要求，选择合适的套管，并将其下入井中。套管的安装必须精确无误，以确保固井后的密封性能。水泥浆的配方需根据地层压力、温度以及流体性质等因素进行精确调配，以保证其具有良好的流动性和凝固强度。在注入过程中，需通过专业的固井设备，确保水泥浆能够按照预定方案均匀地注入套管与地层之间的环空中。注完水泥浆后，进行顶替作业。顶替作业的目的是将多余的水泥浆和钻井液替换出来，确保水泥浆在环空中形成完整的固井层。这一步骤同样需要精确控制，以避免对固井质量造成不良影响^[1]。通过对固井后的井筒进行压力测试，可以判断固井效果是否良好。如果发现压力测试不合格或者存在其他问题，需要及时采取补救措施，以确保固井质量的合格与可靠。

2 固井质量在水平井中的重要性

水平井作为一种特殊的钻井方式，其井身轨迹沿水平方向延伸，能够大大增加油井与储层的接触面积，从而提高原油采收率。第一，固井质量的好坏直接影响到水平井的密封性能。在水平井钻井过程中，地层中的流体可能会通过井筒与地层之间的缝隙侵入，造成油井污染甚至引发安全事故。而优质的固井作业能够有效地质填充这些缝隙，防止流体入侵，从而保障油井的正常生

产和操作人员的安全。第二，固井质量还关系到水平井的使用寿命和稳定性。如果固井质量不达标，可能会导致套管与地层之间的固井层出现裂缝或脱落，进而影响到油井的长期稳定运行。这不仅会增加维护成本，还可能影响原油产量，对油田开发造成不可估量的损失。第三，随着石油勘探和开发技术的不断发展，对于固井质量的要求也在不断提高。特别是在一些复杂地质条件下，如高渗透性地层、高压高温环境等，固井质量的重要性更加凸显。只有通过不断提升固井技术水平，才能确保水平井在各种复杂条件下都能保持稳定高效的运行状态^[2]。第四，对于水平井而言，固井质量是其安全生产和高效开发的重要保障。必须高度重视固井作业的质量和效果，采取科学合理的工艺措施和技术手段，确保固井质量达到设计要求，为水平井的长期稳定运行奠定坚实基础。

3 水平井固井质量影响因素分析

3.1 地质因素

地质因素对水平井固井质量的影响不可忽视。（1）地层岩性是决定固井难度的关键因素之一。不同岩性具有不同的物理和化学性质，对水泥浆的凝结和固化过程产生不同影响。例如，硬质岩石地层往往具有较高的强度和稳定性，有利于提高固井质量；而软弱岩石地层则容易产生变形和破裂，给固井作业带来挑战。（2）地层压力分布也是影响固井质量的重要因素。在水平井钻井过程中，井筒内压力与地层压力之间的平衡关系至关重要。如果地层压力过高，可能导致水泥浆难以注入或注入后出现渗漏；而地层压力过低则可能导致水泥浆过早固化或无法充分填充地层缝隙。因此，精确掌握地层压力分布是确保固井质量的重要前提。（3）地层流体的性质也会对固井质量产生一定影响。地层中的流体可

能包含腐蚀性物质或高盐度成分, 这些物质可能对水泥浆的性能产生不良影响, 导致固井层强度降低或密封性失效。因此, 在固井作业前需要对地层流体进行充分了解, 并采取相应措施进行预防和处理。

3.2 工程因素

工程因素在水平井固井质量中起着至关重要的作用。第一, 钻井液的性能对固井质量有着直接影响。钻井液在钻井过程中起到冷却钻头、携带岩屑和维持井筒稳定的作用。如果钻井液性能不佳, 可能会导致井筒内壁形成泥饼或岩屑堆积, 进而影响水泥浆的注入和分布。因此, 在固井作业前需要对钻井液进行充分处理和优化, 以确保其具有良好的性能。第二, 套管的设计和安装也是影响固井质量的关键因素。套管作为固井过程中的重要工具, 其质量和性能直接关系到固井层的密封性和稳定性。套管的尺寸、材质和连接方式等设计参数需要根据地层特性和工程要求进行合理选择。在安装过程中, 需要确保套管与井筒的紧密贴合和良好密封, 以避免地层流体的侵入和水泥浆的渗漏^[3]。第三, 固井工艺参数的选择也是影响固井质量的重要因素。固井工艺参数包括水泥浆的注入量、注入速度、顶替压力和顶替量等。这些参数的合理选择需要考虑到地层特性、井筒尺寸和套管性能等因素。通过精确控制这些参数, 可以确保水泥浆能够均匀注入地层与套管之间的环空中, 并形成良好的固井层。

3.3 操作因素

固井作业需要经验丰富的操作人员来精确控制各项参数和流程, 以确保水泥浆能够准确注入地层并形成良好的固井层。同时, 操作人员还需要具备对突发情况的应对能力, 以便在固井过程中出现意外情况时能够迅速采取有效措施进行处理。因此, 加强对操作人员的培训和技能提升是提高固井质量的重要手段之一。固井作业是一个复杂且连续的过程, 需要对各项参数进行实时监控和调整, 以确保固井质量的稳定和可靠。现代技术的应用为固井过程的监控提供了有力支持, 如使用传感器和监测设备对井筒压力、温度等参数进行实时监控, 利用数据分析技术对固井质量进行预测和评估等。这些技术的应用可以帮助操作人员及时发现并处理固井过程中的问题, 从而提高固井质量。在固井过程中, 可能会出现各种异常情况, 如水泥浆渗漏、套管错位等。对于这些异常情况, 操作人员需要迅速反应并采取相应的处理措施, 以防止其对固井质量造成不利影响。因此, 制定完善的应急预案和处理流程, 提高操作人员的应急处理能力, 对于保障固井质量具有重要意义。

4 水平井固井质量提升技术探讨

4.1 钻井液优化技术

钻井液在水平井固井作业中扮演着举足轻重的角色。它不仅起到携带岩屑、冷却钻头、维持井壁稳定等作用, 还直接影响着固井后水泥环的胶结质量和密封性能。因此, 钻井液的优化是提升固井质量的关键一环。针对不同地层特性, 调整钻井液的粘度、密度和pH值等关键参数, 以增强其对地层的适应性。添加适量的抗盐、抗高温等添加剂, 以提高钻井液的稳定性和耐久性。通过优化循环管路和过滤器设计, 减少钻井液中的杂质和颗粒含量, 确保其在注入地层时的纯净度和均匀性。同时, 建立完善的钻井液处理流程, 定期检测和更换钻井液, 避免其因长时间使用而变质或失效。如纳米钻井液技术、环保型钻井液技术等, 这些新型钻井液具有更好的流动性和稳定性, 能够更有效地保护井壁并减少地层污染, 从而提高固井质量。

4.2 套管优化设计技术

针对水平井所特有的复杂地质环境和严苛的工程条件, 优化套管设计成为了一项紧迫且重要的任务。通过选用高强度、高韧性的优质合金钢材料, 确保套管在面对地层应力的复杂变化时能够展现出卓越的抗挤压和抗拉伸性能, 从而有效防止固井作业中出现套管变形或损坏的情况。传统的连接方式可能存在密封性不佳、可靠性不足的问题, 导致地层流体容易侵入固井层, 对固井质量构成威胁^[4]。因此, 采用先进的焊接和机械连接技术, 确保套管连接处具有优异的密封性能和稳固性, 从根本上防止地层流体的侵入。通过采用喷砂清理、涂层保护等表面处理技术, 有效增强套管表面的粗糙度和附着力, 进而提高套管与水泥浆之间的胶结力。这样不仅可以减少固井后套管与地层之间的微间隙, 还能显著提高固井层的密封性能, 确保油井的稳定生产和长期安全。积极探索新型套管结构的设计与应用。例如, 多层复合套管结构和波纹套管结构等新型套管设计, 不仅提高套管的抗压能力和稳定性, 还有效降低固井过程中的风险。这些创新技术的应用为水平井固井质量的提升提供了新的途径和方法。

4.3 固井工艺创新技术

针对传统固井工艺中存在的问题和不足, 开展工艺创新和技术攻关具有重要意义。针对不同地层条件和工程需求, 开发具有高强度、低渗透性等特点的新型水泥浆, 并采用多级注替、变密度注替等先进注入方式, 以提高水泥浆的顶替效率和分布均匀性。引入先进的固井设备和工具; 如使用旋转套管头、多段塞顶替等设备和

工具,以改善套管与地层之间的胶结状态,减少固井后可能出现的窄槽或缩径等问题。探索新型的固井方法和技术;如尝试采用连续油管固井技术、干法固井技术等新型固井方法,以解决传统固井方法中存在的问题和不足,提高固井质量和效率。

4.4 实时监测与智能调控技术

实时监测与智能调控技术在水平井固井作业中的应用,能够实现对固井过程的全面监控和精准调控,从而有效提高固井质量。(1)实时监测技术通过安装在井筒和套管上的传感器,实时采集固井过程中的关键参数,如压力、温度、流量等。这些数据通过数据传输系统实时传输至地面监控中心,使操作人员能够及时了解固井作业的进展情况。同时,利用数据分析技术对这些数据进行处理和分析,可以预测固井质量的变化趋势,为操作人员提供决策支持。(2)智能调控技术根据实时监测数据,自动调整固井作业中的关键参数和工艺步骤。例如,根据井筒压力和流量的变化情况,智能调控系统可以自动调整水泥浆的注入速度和顶替压力,确保水泥浆能够均匀注入地层并形成良好的固井层。智能调控技术还可以根据地层特性和工程要求,自动优化套管的下入速度和位置,提高套管的居中度,进一步保证固井质量。(3)实时监测与智能调控技术还可以应用于固井作业的风险预警和异常处理。通过对实时监测数据的分析,系统能够及时发现固井过程中的异常情况,如水泥浆泄漏、套管错位等,并自动触发预警机制。操作人员可以根据预警信息迅速采取相应措施,防止异常情况对固井质量造成不利影响。

5 水平井固井技术发展趋势

随着石油勘探开发向更深层次、更复杂地质条件发展,水平井固井技术正面临着前所未有的挑战与机遇。未来,水平井固井技术将呈现以下发展趋势:第一,智能化与自动化水平将大幅提升。借助先进传感器、物

联网技术和大数据分析,实现对固井过程的实时监控、精准控制和智能优化,减少人为干预,提高作业效率和质量。第二,环保与可持续性将成为技术发展的重要方向。新型环保钻井液、水泥浆的研发应用将减少对环境的影响,同时固井废弃物的处理和循环利用也将得到更多关注,实现绿色勘探开发。第三,多学科交叉融合将推动固井技术创新。力学、化学、材料科学等领域的最新研究成果将不断被引入到固井技术中,为解决复杂地质条件下的固井难题提供新思路和新方法。第四,个性化与定制化固井方案将成为主流。针对不同地质条件和工程要求,量身定制固井方案,包括选用合适的套管、水泥浆配方和固井工艺等,以实现最佳的固井效果和经济效益。

结束语

随着石油勘探开发技术的不断进步,水平井固井技术面临着日益复杂和严峻的挑战。通过深入研究和应用钻井液优化、套管设计、固井工艺创新以及实时监测与智能调控等技术手段,可以有效提升水平井固井质量,确保油田的安全稳定生产。同时,也需要关注环保和可持续性问题,推动固井技术朝着更加绿色和高效的方向发展。展望未来,随着多学科交叉融合和个性化需求的不断提升,水平井固井技术将不断创新和发展,为石油工业的可持续发展作出更大贡献。

参考文献

- [1]薛金龙.提高艾哈代布油田技套固井质量技术对策探讨[J].石油和化工设备,2019,22(04):111-112+97.
- [2]赵晓亮.影响水平井固井质量因素分析及对策[J].西部探矿工程,2019,31(06):47-48.
- [3]李辉.影响水平井固井质量因素分析及对策[J].化学工程与装备.2021(12).83-84+90
- [4]刘行臣.水平井固井质量的影响因素及对策分析[J].石化技术.2021(02).162-163