

油水井注水泥塞成功率影响因素分析研究

周扬

辽河工程技术分公司修井技术服务大队

DOI:10.32629/jpm.v7i8.9013

[摘要] 本文旨在深入剖析油水井注水泥塞成功率的影响因素，以提升油气田开发效率与效益。从地质、工程、水泥浆性能等多维度展开全面分析。研究发现，地质因素如地层压力、温度及流体性质，工程因素中的井身结构、套管状况与施工操作，以及水泥浆性能方面的密度、失水量和稠化时间等，均对注水泥塞成功率具有显著影响。基于此，提出优化地质评估、完善工程设计、改进水泥浆体系以及加强施工监督与管理等提高成功率的策略，为油气田注水泥塞作业的优化实施提供理论与实践依据。

[关键词] 油水井；注水泥塞；成功率；影响因素；提高策略

Analysis of Factors Affecting the Success Rate of Cement Plug Placement in Oil and Water Wells

Zhou Yang

Well Maintenance Technical Service Brigade, Liaohé Engineering Technology Branch Company.

[Abstract] This study aims to conduct an in-depth analysis of the factors influencing the success rate of cement plug placement in oil and water wells, thereby enhancing the efficiency and profitability of oil and gas field development. A comprehensive analysis is performed from multiple dimensions, including geology, engineering, and cement slurry properties. The study reveals that geological factors—such as formation pressure, temperature, and fluid properties—as well as engineering factors—including wellbore configuration, casing condition, and construction operations—along with cement slurry properties—such as density, water loss rate, and thickening time—all exert a significant influence on the success rate of cement plug placement. Based on these findings, the study proposes strategies to improve the success rate, such as optimizing geological assessments, refining engineering designs, enhancing cement slurry systems, and strengthening construction supervision and management; these strategies provide both theoretical and practical foundations for the optimized implementation of cement plug placement operations in oil and gas fields.

[Key words] oil and water wells; cement plug placement; success rate; influencing factors; improvement strategies

引言

油水井注水泥塞作业作为油气田开发中一项至关重要的技术措施，广泛应用于层位封堵、井筒修复以及生产调整等多个环节。随着辽河油的开发时间越来越长，部分油水井因现阶段开采的层位需要调整，注水泥塞成为一种经常用于调层、隔离、暂避的工艺措施。此外，随着水平井钻井技术的普及，注水泥塞在水平段的应用也逐渐增多，尤其是在复杂地质条件下的油气田开发中，其重要性更为突出。然而，当前油水井注水泥塞作业仍面临诸多挑战，影响水泥塞的因素很多，如果忽略或者没有充分发现任何一种或多种影响因素，都可能影响施工效果甚至会造成事故。例如施工成功率不高、工艺复杂等问题，这些问题直接影响了油气田开发的效率与成本控制。因此，深入研究注水泥塞技术并提高其施工成功率，对于优化油气田开发效果具有重要意义。

1. 影响油水井注水泥塞成功率的地质因素

1.1 地质因素

1.1.1 地层压力

在注水泥塞过程中，地层压力的异常变化可能导致水泥浆

窜槽或顶替效果不佳，从而影响注水泥塞的质量与成功率。当地层压力过高时，水泥浆在注入过程中可能因压力差不足而无法有效顶替井筒内的流体，导致水泥浆沿井壁与套管之间的环空发生窜槽现象，进而影响水泥环的完整性与封隔效果。相反，当地层压力过低时，水泥浆在顶替过程中可能因缺乏足够的驱动力而无法完全充填目标层位，造成注水泥塞失败。例如，在某油田的注水泥塞作业中，由于未能准确评估地层压力分布，导致施工中出现水泥浆窜槽现象，最终影响注水泥塞的封隔效果，并增加后续修复作业的成本。

1.1.2 地层温度

高温环境下，水泥浆中的化学成分可能发生加速反应，导致水泥浆闪凝现象的发生，从而缩短施工窗口并增加施工难度。此外，高温还可能降低水泥浆的流动性，使其在注入与顶替过程中难以充分充填目标层位，影响水泥环的胶结质量。而在低温环境中，水泥浆的凝固时间会显著延长，这不仅增加了施工周期，还可能导致水泥环早期强度不足，影响注水泥塞的长期稳定性。例如，在某深井注水泥塞作业中，由于井底温度过高，水泥浆在注入后迅速闪凝，导致施工失败并需进行二次

作业。为解决这一问题, 研究人员开发了多种抗高温水泥浆体系, 并通过优化水泥浆配方以延长其稠化时间, 从而适应高温环境下的施工需求。因此, 在实际施工中, 必须根据地层温度特点选择合适的水泥浆体系, 并采取相应的技术措施以确保注水泥塞的成功率。

1.1.3 地层流体性质

地层流体中的某些成分可能与水泥浆发生化学反应, 导致水泥浆性能下降甚至失效。例如, 地层水中高浓度的硫酸根离子可能与水泥浆中的铝酸三钙发生反应, 生成膨胀性物质, 影响水泥环的密封性能并降低注水泥塞的成功率。此外, 地层中的油气成分可能对水泥浆产生污染作用, 使其流动性与凝固时间发生变化, 影响注水泥塞的质量。在某油田注水泥塞作业中, 由于未能充分考虑地层水中高矿化度对水泥浆影响, 导致施工后水泥环出现裂缝, 未能达到预期的封隔效果。为解决这一问题, 研究人员提出通过添加外加剂或优化水泥浆配方来提高其抗污染能力方法, 同时建议在注水泥塞施工前对地层流体进行详细分析, 以制定针对性的施工方案。

1.2 工程因素

1.2.1 井身结构

井身结构的复杂程度对注水泥塞施工的成功率具有显著影响, 尤其在斜井、水平井及多底井等特殊井型中, 施工难度进一步增加。在斜井和水平井中, 由于重力作用的影响, 水泥浆在环空中的流动分布不均, 易导致水泥浆顶替效率降低, 形成窜槽现象。此外, 多底井的井眼几何结构复杂, 水泥浆在分流点附近的流动行为难以预测, 进一步增加施工风险。例如, 在某高温高压水平井的悬空水泥塞施工中, 因大井斜段存在, 水泥塞底部与储层水平段的距离仅 150m, 注水泥过程中井底波动压力显著增大, 导致防窜与防漏矛盾突出。此类工程案例表明, 井身结构的复杂性不仅影响水泥浆流动与顶替效果, 还对施工参数设计提出更高要求。

为应对上述挑战, 需通过优化管柱结构和前置液设计来提高水泥浆顶替效率。例如, 采用旋转尾管或偏心环空技术可有效改善水泥浆在斜井段的流动分布, 减少窜槽风险。然而, 这些技术应用仍需结合具体的地质条件与工程需求进行综合评估, 以确保施工的安全性及有效性。

1.2.2 套管状况

套管完整性是注水泥塞施工成功的关键因素之一, 套管变形、破损及结垢等问题会显著降低水泥塞封隔效果。套管变形会导致环空间隙变窄甚至完全堵塞, 从而影响水泥浆的均匀充填, 进而削弱水泥环的密封性能。在深井或老井中, 套管破损问题尤为突出, 这可能导致水泥浆在注入过程中发生漏失, 无法有效形成完整的水泥塞。此外, 套管内壁结垢会影响水泥浆与套管的胶结质量, 导致界面胶结强度下降, 增加后续作业中水泥塞失效的风险。

针对套管问题, 施工前需进行全面检测与评估, 以制定针对性解决方案。例如, 采用超声波测井或电磁探伤技术可准确识别套管的变形与破损位置, 为后续修复或调整施工方案提供依据。同时, 对于结垢严重井段, 可通过化学清洗或机械刮削等方式清除垢层, 提高水泥浆与套管的胶结质量。然而, 这些措施的实施成本较高且操作复杂, 因此需在施工前进行充分技

术经济分析。

1.2.3 施工操作

施工操作不当是导致注水泥塞失败重要原因之一, 尤其是在注入速度控制、顶替量计算及施工顺序执行等环节中, 任何细微的偏差都可能对施工质量产生重大影响。例如, 注入速度过快会导致井底压力急剧升高, 可能引发地层破裂或水泥浆窜槽; 而注入速度过慢则可能延长施工时间, 增加水泥浆被污染的风险。此外, 顶替量不准确也是常见问题之一, 顶替量不足会导致水泥浆无法完全充填目标井段, 顶替量过大则可能挤入地层, 造成不必要储层伤害。

在实际施工中, 操作不当导致的失败案例屡见不鲜。例如, 在某井打水泥塞作业中, 由于施工人员未严格按照设计要求控制顶替量, 导致水泥塞长度不足, 最终影响了封堵效果。此类案例表明, 加强施工操作规范的执行力度至关重要。为此, 需在施工前对操作人员进行系统培训, 并严格执行施工规范, 确保每个环节的操作均符合设计要求。此外, 实时监测施工参数并及时调整施工策略, 也是提高施工成功率的重要保障措施。

1.3 水泥浆性能因素

1.3.1 水泥浆密度

水泥浆密度是注水泥塞施工中的关键参数之一, 其合理选择直接影响注水泥塞的质量和成功率。研究表明, 水泥浆密度过高会导致流动性显著降低, 增加顶替过程中的摩阻, 可能导致水泥浆无法充分填充目标区域, 影响封隔效果。此外, 高密度水泥浆在高压条件下可能引发井漏风险, 特别是在易漏层段施工中, 这一问题尤为突出。相反, 若水泥浆密度过低, 则可能无法提供足够的封隔强度, 导致水泥环的抗压性能不足, 难以满足长期封隔需求。因此, 在实际施工中, 需根据地层压力、井筒条件及施工要求, 精确设计水泥浆密度, 以确保其既能满足流动性需求, 又能提供可靠的封隔性能。

从工程实践来看, 水泥浆密度优化设计需要综合考虑多种因素。例如, 在深井或高温高压井中, 由于地层环境复杂, 对水泥浆密度的要求更为严格。相关研究指出, 针对此类井型, 可通过添加适量减轻剂或加重剂来调整水泥浆密度, 同时辅以流变性能调控, 以实现最佳施工效果。然而, 密度调整过程中需特别注意与其他性能参数匹配性, 避免因单一参数优化而引发整体性能下降。

1.3.2 失水量

水泥浆失水量是评价其性能的重要指标之一, 对地层伤害及注水泥塞成功率具有显著影响。失水量过大可能导致水泥浆中的自由水向地层渗透, 进而引发地层吸水膨胀或粘土矿物分散, 破坏地层稳定性。这种现象在低渗透储层或水敏性地层中尤为明显, 可能导致地层孔隙度降低、渗透率下降, 甚至引发严重的储层伤害。此外, 失水量过大会影响水泥环的胶结质量, 导致水泥与套管或地层之间的界面粘结强度不足, 从而影响注水泥塞长期封隔效果。

实际案例分析表明, 失水量控制不当往往是注水泥塞失败的重要原因之一。为解决这一问题, 研究人员提出了多种技术手段, 包括添加降失水剂、优化水泥浆配方以及改进施工工艺等。实验结果表明, 通过合理控制失水量, 可以显著提高水泥浆的稳定性和胶结质量, 从而提升注水泥塞的成功率。

1.3.3 稠化时间

水泥浆稠化时间是注水泥塞施工中的另一关键性能参数,其长短直接影响施工的安全性和成功率。稠化时间过短可能导致水泥浆在施工过程中过早凝固,从而增加施工风险。例如,在注水泥塞作业中,若稠化时间不足,可能出现在顶替未完成前水泥浆即开始凝固的情况,导致施工中断或封隔失败。另一方面,稠化时间过长则可能延缓水泥环的早期强度发展,影响注水泥塞的初期封隔效果,尤其是在需要快速建立封隔屏障的场景下,这一问题尤为突出。

研究表明,稠化时间的优化需综合考虑施工条件、地层环境及水泥浆性能等多方面因素。例如,在高温深井中,由于井底温度较高,水泥浆的化学反应速率加快,可能导致稠化时间缩短。为此,可通过添加缓凝剂或采用耐高温水泥浆体系来延长稠化时间,以确保施工安全。然而,稠化时间的调整需与其他性能参数相协调,避免因单一参数优化而引发整体性能劣化。研究指出,通过室内实验与现场验证相结合的方式,可以有效确定适合特定工况的稠化时间范围,从而提高注水泥塞的成功率。

2. 提高油水井注水泥塞成功率的策略

2.1 优化地质评估

在注水泥塞施工前,对地层压力、温度及流体性质等进行准确的地质评估是提高成功率的关键环节。地层压力的异常变化可能导致水泥浆窜槽或顶替不充分,影响注水泥塞的质量;而地层温度则直接影响水泥浆的凝固时间和性能稳定性,高温可能引发闪凝现象,低温则可能延长凝固周期并降低早期强度。此外,地层流体的性质,尤其是油、气、水中含有的腐蚀性离子,可能对水泥浆造成污染甚至破坏其凝固特性。因此,采用先进地质评估技术与方法显得尤为重要。例如,通过地层测试获取精确的地层压力数据,结合流体分析明确地层流体的化学成分及其潜在影响,能够为注水泥塞施工提供科学依据。同时,借助现代测井技术和数值模拟手段,可以更全面地预测复杂地质条件下的施工风险,从而制定更具针对性的技术方案。

2.2 完善工程设计

针对井身结构和套管状况等工程因素,优化注水泥塞工程设计是提升施工适应性和成功率重要措施。复杂的井身结构,如斜井、水平井及多底井,显著增加了水泥浆流动与顶替的难度,容易导致水泥环分布不均问题。套管变形、破损或结垢则进一步加剧这一挑战,使得水泥浆无法有效充填目标区域,影响封隔效果。为此,在工程设计中应充分考虑这些因素,并选择合适的下灰工具以确保水泥浆能够均匀覆盖目标层段。此外,合理确定施工参数,包括注入速度、顶替量以及施工时间等,也是保证施工质量的重要环节。例如,根据井筒条件和水泥浆性能,优化注入速度可以避免因流速过快导致的压力波动,减少窜槽风险。通过综合运用理论计算与现场经验,不断完善工程设计,能够有效提高注水泥塞施工的成功率。

2.3 改进水泥浆体系

在实际施工中,水泥浆密度过高可能导致流动性下降,增加泵送阻力,而密度过低则可能影响封隔强度,导致密封效果

不佳。此外,失水量过大会引起地层吸水膨胀,进而削弱水泥环的胶结质量;稠化时间不当也会对施工造成不利影响,过短可能导致施工窗口不足,过长则可能影响早期强度。为解决这些问题,可针对具体施工需求开发特殊用途的水泥浆体系。例如,在高温环境下使用抗高温水泥浆,以延缓闪凝并保持良好的流变性能;在易漏层施工中采用低失水水泥浆,以减少对地层的伤害并增强封隔效果。通过改进水泥浆体系,不仅能够提高其性能稳定性,还能更好地满足复杂工况下的施工要求。

2.4 加强施工监督与管理

施工过程中的监督与管理是确保注水泥塞成功率的重要保障。由于施工操作不当,如注入速度控制不严、顶替量计算不准确等问题,往往会导致注水泥塞失败,进而造成资源浪费和经济损失。因此,必须严格执行施工规范,确保每个环节的操作均符合标准要求。例如,在施工前应对所有设备进行全面检查,以消除潜在故障隐患;在施工过程中,应实时监测关键参数,如压力、流量及温度等,及时发现并处理异常情况。此外,引入智能化监控系统 and 大数据分析技术,可以实现对施工过程的精细化管理和动态调整,从而提高施工精度与效率。通过加强施工监督与管理,不仅可以降低人为失误的发生率,还能为后续施工积累宝贵经验,为持续提升注水泥塞成功率奠定坚实基础。

3. 结论

(1) 本文统分析影响油水井注水泥塞成功率的主要因素,提出多项提高油水井注水泥塞成功率的策略。这些研究成果为油气田开发实践中注水泥塞作业的优化提供重要的理论支持与实践指导。

(2) 本文主要聚焦于单一因素对注水泥塞成功率影响,对于多因素耦合效应探讨较为有限,这可能忽略了某些复杂地质与工程条件下的关键影响因素。

(3) 未来研究应开展多因素耦合影响研究,以更全面地揭示影响注水泥塞成功率的深层次机制;加强新技术在注水泥塞中的应用研究,例如智能监测技术、高性能材料等,探索其在提升施工效率与质量方面的潜力;深化对水泥浆性能与地质条件匹配关系的研究,开发更具针对性的水泥浆体系与施工工艺。

[参考文献]

- [1]马溢;李波;张鑫.流花油田水平段注水泥塞工艺研究[J].化工管理,2021,(16):189-190.
- [2]徐善雷.注水泥塞失败原因探讨[J].石化技术,2017,24(10):37-37.
- [3]陈俊柳杰.易漏层注水泥塞技术[J].石油石化物资采购,2024,(3):88-90.
- [4]杨玉豪;王成龙;韩成;吴江;李文拓;张万栋.海上高温高压天然气水平井临时隔离储层悬空水泥塞技术[J].钻井液与完井液,2020,37(3):345-350.
- [5]李勇;姚猛;王晓;全可佳;方文超;王龙;姚健欢.以商 8-74 井为例浅析打水水泥塞工艺[J].钻采工艺,2014,37(5):110-112.
- [6]郭晨.注水泥塞作业技术措施[J].化工设计通讯,2019,45(2):39-39.