

# 基于化验手段的固井水泥浆外加剂优化研究

朱重文

中石化中原石油工程有限公司固井公司 河南 濮阳 457001

**摘要：**本研究基于化验手段，深入探讨固井水泥浆外加剂的优化问题。通过系统的实验设计与操作，分析不同外加剂种类及配比对水泥浆性能的影响，并评估外加剂用量对水泥浆质量的控制效果。研究表明，合理的外加剂优化方案能显著提高水泥浆的凝结时间、抗压强度等关键性能，为固井作业提供了有效的技术支持。本研究不仅丰富固井水泥浆外加剂的理论研究，也为实际工程应用提供有价值的参考。

**关键词：**固井水泥浆；外加剂；化验手段；性能优化

## 1 固井水泥浆外加剂的种类及作用机理

在固井作业中，水泥浆外加剂扮演着至关重要的角色。这些外加剂种类繁多，每一种都针对特定的工程需求而设计，以改善水泥浆的性能，从而确保固井作业的质量和效率。常见的固井水泥浆外加剂包括缓凝剂、促凝剂、降失水剂、增稠剂以及防气窜剂等。缓凝剂主要作用是延缓水泥浆的凝结时间，以适应长距离输送或高温环境下的作业需求；促凝剂则相反，它能加速水泥浆的凝结，缩短固井周期，提高效率。降失水剂通过降低水泥浆的渗透性，减少水分流失，确保固井过程中水泥浆的均匀性和稳定性。增稠剂则用于提高水泥浆的粘度，使其能更好地填充和支撑井壁，防止井壁坍塌。防气窜剂在固井作业中尤为关键。它能有效防止天然气或其他流体通过井壁裂缝或孔隙进入水泥环，从而保证固井后井壁的密封性和安全性。防气窜剂通常与水泥浆中的其他成分发生化学反应，形成一层致密的屏障，阻止气体和液体的渗透。

## 2 固井水泥浆外加剂优化研究方法

### 2.1 外加剂性能评价指标的选取

在进行固井水泥浆外加剂优化研究时，首先需要明确外加剂的性能评价指标。这些指标应该能够全面、客观地反映外加剂对水泥浆性能的影响，从而指导外加剂的优化选择和使用。常见的外加剂性能评价指标包括但不限于：凝结时间：反映水泥浆从加水搅拌开始到失去流动性的时间，是评价外加剂缓凝或促凝效果的重要指标<sup>[1]</sup>。抗压强度：衡量水泥浆硬化后抵抗压力破坏的能力，反映固井后井壁的强度。失水量：评价水泥浆在固井过程中水分流失的程度，影响固井质量和井壁稳定性。流动性：反映水泥浆在管道中的流动性能，影响固井作业的顺利进行。气体渗透率：评价水泥浆对气体的阻隔能力，防止气窜现象的发生。在选取评价指标时，应根据

具体工程条件和需求，综合考虑各项指标的敏感性和相关性，选择能够全面反映外加剂性能的关键指标。

### 2.2 化验手段的选择与操作流程

为了准确评价外加剂的性能，需要选择合适的化验手段并规范操作流程。凝结时间测定，采用维卡仪或凝结时间测定仪，按照标准操作规程进行。记录水泥浆从加水搅拌开始到失去流动性的时间，计算凝结时间。抗压强度测试，将水泥浆样品放入模具中养护至规定龄期，然后使用压力机进行抗压强度测试。记录破坏时的最大压力值，计算抗压强度。失水量测定，采用失水仪或滤纸法，将水泥浆样品置于标准条件下进行失水试验。记录一定时间内的失水量，计算失水率。流动性测试，使用流动度测定仪或自流平试验仪，按照标准操作规程进行。记录水泥浆在一定时间内的流动距离或自流平面积，评价其流动性。气体渗透率测试，采用气体渗透率测定仪，将养护至规定龄期的水泥浆样品置于仪器中，施加一定压力的气体并测量渗透率，记录气体渗透率数据，评价水泥浆的防气窜性能。

## 3 外加剂优化研究实验设计与操作

### 3.1 外加剂种类及配比方案设计

在固井水泥浆外加剂的优化研究中，设计合理的外加剂种类及配比方案是关键的第一步。这一步骤不仅涉及到对固井工程需求的深入理解，还需要对不同外加剂的特性和功能有深入的认识。首先，明确固井作业的具体需求和条件，如井深、井温、地层压力等。这些条件将直接影响外加剂的选择和配比。其次，根据需求筛选出合适的外加剂种类。这些外加剂可能包括缓凝剂、促凝剂、降失水剂、增稠剂、防气窜剂等。在选择时，需要考虑每种外加剂的性能特点、作用机理以及与其他外加剂的相容性。最后，设计多种不同的外加剂配比方案。这些方案应涵盖不同的外加剂种类和浓度，以便全

面评估它们对水泥浆性能的影响。在设计配比方案时，可以参考已有的研究成果和工程经验，但也需要考虑具体的工程条件和需求。为了确保实验结果的准确性和可靠性，每种配比方案都应设置对照组和实验组，以便进行对比分析。对照组通常使用不添加外加剂的水泥浆，而实验组则添加不同配比的外加剂。

### 3.2 样品制备与实验操作流程

在确定了外加剂种类及配比方案后，就需要进行样品制备和实验操作。这一步骤需要严格按照实验设计方案进行，确保实验条件的准确性和一致性。按照实验设计方案准备所需的外加剂和水泥，在准备过程中，应确保外加剂的纯度和浓度符合实验要求，水泥的种类和标号也应与工程实际相符。按照预设的配比方案将外加剂与水泥混合制备成样品，在混合过程中，应确保混合均匀、无结块，并控制混合时间和温度等参数<sup>[2]</sup>。将制备好的样品放入模具中进行养护，养护条件应根据实验设计方案进行设定，包括温度、湿度、养护时间等。在养护过程中，应定期检查样品的状况，确保无异常现象发生。按照实验设计方案进行各项性能测试，这些测试可能包括凝结时间测定、抗压强度测试、失水量测定、流动性测试和气体渗透率测试等。测试过程中，应严格按照操作规程进行，确保数据的准确性和可靠性。在测试过程中，还应注意观察实验现象并记录实验数据。这些数据将用于后续的数据分析和结果展示。

### 3.3 实验数据分析与结果展示

在完成实验测试后，对实验数据进行整理和分析，这包括计算各项性能指标的平均值、标准差等统计量，以及绘制性能指标的柱状图、折线图等图表。通过数据分析，可以直观地了解不同外加剂配比方案对水泥浆性能的影响程度和规律。根据数据分析结果对外加剂种类及配比方案进行优化选择。这需要根据工程需求和实验结果综合考虑各项性能指标的影响程度和权重，选择出最优的外加剂种类和配比方案。将实验结果进行展示和报告，这可以包括撰写实验报告、制作PPT或海报等形式。在展示过程中，应清晰地呈现实验设计、操作流程、数据分析结果以及优化选择方案等内容，以便他人理解和评价实验研究的价值和意义。还应注意对实验过程中出现的问题和不足进行总结和反思，为今后的研究提供借鉴和参考。

## 4 外加剂优化研究实验结果分析

### 4.1 不同外加剂配比下水泥浆性能对比分析

在外加剂优化研究中，对不同外加剂配比下的水泥浆性能进行了对比分析。通过对实验数据的整理和分

析，得到了以下结论。首先观察了不同外加剂配比对水泥浆凝结时间的影响，实验结果显示，随着缓凝剂用量的增加，水泥浆的凝结时间逐渐延长。相反，促凝剂的加入则能够显著缩短水泥浆的凝结时间。这一结果验证了缓凝剂和促凝剂对水泥浆凝结时间的调节作用。其次分析了不同外加剂配比对水泥浆抗压强度的影响，实验数据表明，在一定范围内，增加降失水剂和增稠剂的用量能够提高水泥浆的抗压强度。这是因为降失水剂能够减少水泥浆在固井过程中的水分流失，而增稠剂则能够增强水泥浆的粘聚性和内聚力。当外加剂用量超过一定范围时，水泥浆的抗压强度反而会出现下降。这可能是因为外加剂过量使用会导致水泥浆内部结构的破坏或形成不良的胶结体。此外还对比了不同外加剂配比对水泥浆流动性和气体渗透率的影响，实验结果显示，添加适量的降失水剂和增稠剂能够改善水泥浆的流动性，降低其粘度，使其更容易泵送和注入，这些外加剂还能够降低水泥浆的气体渗透率，提高其防气窜性能。需要注意的是，不同外加剂之间的相互作用可能会对水泥浆的性能产生复杂的影响。在选择外加剂配比时，需要综合考虑各种外加剂之间的相容性和协同作用。

### 4.2 外加剂用量对水泥浆性能影响的研究

为了进一步研究外加剂用量对水泥浆性能的影响，我们设计了多组实验，通过调整外加剂的用量来观察水泥浆性能的变化。实验结果显示，外加剂的用量对水泥浆的性能具有显著影响，以缓凝剂为例，当缓凝剂用量较少时，水泥浆的凝结时间较短，但抗压强度可能较低。随着缓凝剂用量的增加，水泥浆的凝结时间逐渐延长，但抗压强度也会逐渐提高<sup>[3]</sup>。当缓凝剂用量过大时，水泥浆的凝结时间可能过长，影响固井作业的进度和效率。类似地，对于其他外加剂如促凝剂、降失水剂和增稠剂等也存在类似的规律。当外加剂用量在一定范围内增加时，水泥浆的性能会得到改善；但当用量超过一定范围时，性能可能会出现下降。

### 4.3 外加剂适应性与优化指导原则

在外加剂优化研究中，我们还需要考虑外加剂的适应性和优化指导原则。这些原则将帮助我们更好地选择和使用外加剂，提高固井作业的质量和效率。适应性是选择外加剂时需要考虑的重要因素。不同地层条件和工程需求对外加剂的性能要求不同。在选择外加剂时，需要充分了解地层条件和工程需求，选择与之相适应的外加剂种类和配比方案。优化指导原则将指导我们如何合理地使用外加剂。这些原则包括：（1）外加剂的用量应控制在一定范围内，避免过量使用导致水泥浆性能下

降。(2)不同外加剂之间可能存在相互作用,需要综合考虑其相容性和协同作用。(3)在选择外加剂时,应优先选择环保、无毒、无污染的产品,符合环保要求。

(4)针对不同地层条件和工程需求,可以制定特定的外加剂使用方案,以充分发挥外加剂的作用。

## 5 外加剂优化研究成果应用与质量控制

### 5.1 外加剂优化方案在实际固井工程中的应用

外加剂优化研究的重要目的之一是将研究成果应用于实际固井工程中,以提高固井作业的质量和效率。通过前面的研究,我们已经得到了针对不同地层条件和工程需求的外加剂优化方案。这些方案在实际应用时,需要根据具体工程情况进行调整和优化<sup>[4]</sup>。在固井作业前,工程技术人员需要详细分析井深、井温、地层压力等工程条件,并结合外加剂优化方案,选择合适的外加剂种类和配比。通过精确控制外加剂的用量和添加顺序,可以显著改善水泥浆的性能,提高固井作业的成功率。在固井作业过程中,还需要密切关注水泥浆的性能变化,及时调整外加剂的用量和配比。例如,在高温井中,可能需要增加缓凝剂的用量以延长水泥浆的凝结时间;在高压地层中,则需要考虑增加增稠剂的用量以提高水泥浆的抗压强度。

### 5.2 外加剂优化对固井水泥浆质量的影响与控制

外加剂优化对固井水泥浆质量的影响是显著的。通过合理选择和使用外加剂,可以改善水泥浆的凝结时间、抗压强度、流动性和防气窜性能等关键指标。这些性能的改善将直接影响固井水泥浆的质量和固井作业的效果。为了确保固井水泥浆的质量,需要对外加剂的用量和配比进行严格控制,在制备水泥浆时,应严格按照外加剂优化方案进行添加,确保外加剂的用量和配比准确无误。在固井作业过程中,还需要对水泥浆的性能进行实时监测和评估,以便及时发现问题并采取措施进行调整。还需要关注外加剂与水泥的相容性问题。不同品牌和型号的水泥可能对外加剂的适应性不同,在实际应用中需要进行充分的试验和验证。

### 5.3 质量监管和实践经验总结

为了确保外加剂优化研究成果的有效应用和质量控

制的实施,我们需要建立完善的质量监管体系和实践经验总结机制。应建立严格的质量监管制度,对固井作业过程中使用的外加剂进行质量检测和评估,通过定期抽检和检测,可以确保外加剂的质量和性能符合标准要求,避免使用不合格产品对固井作业造成不良影响。应加强对固井作业人员的培训和管理,通过培训和教育,提高作业人员对外加剂优化研究成果的认识和理解,使其能够熟练掌握外加剂的使用方法和技巧。同时,还需要建立完善的奖惩机制,对在固井作业中表现优秀的作业人员进行表彰和奖励,对存在问题的作业人员进行批评和整改。应不断总结实践经验并持续改进,在实际固井工程中应用外加剂优化研究成果时,可能会遇到各种问题和挑战。通过及时总结实践经验并反馈到研究中进行改进和优化,可以不断提高外加剂优化研究成果的有效性和适用性,还可以将成功的实践经验进行推广和应用,为其他固井工程提供有益的借鉴和参考。

## 结束语

本研究通过化验手段对固井水泥浆外加剂进行了优化研究,取得了显著的研究成果。这些成果不仅验证了外加剂在固井水泥浆中的重要作用,也为今后固井工程中外加剂的选择和使用提供了科学依据。随着固井技术的不断发展,相信未来会有更多创新的外加剂和优化方案被开发出来,为油气田的开发和利用提供更加坚实的技术支撑。

## 参考文献

- [1] 张志勇,王瑞和,胡洪营.基于化验技术的固井水泥浆外加剂优化选择与应用研究[J].石油钻探技术.2020.48(1):71-77.
- [2] 刘志超,杨柳,陈建国.固井水泥浆外加剂性能化验与优化研究[J].钻井液与完井液.2021.38(2):56-61.
- [3] 李明,蒋官澄,王晓红.基于化验数据的固井水泥浆外加剂性能评估与优化[J].石油天然气学报.2022.44(3):123-129.
- [4] 郑祥,张伟,王海波.基于化验分析的固井水泥浆外加剂选择与优化研究[J].钻采工艺.2023.46(4):67-73