

低密度水泥浆体系防漏

固井技术与推广应用前景分析

林海军（中海油田服务股份有限公司油田化学事业部，河北 廊坊 065000）

摘要：低密度水泥浆体系防漏固井是一种应用于钻井工程的技术，其目的是防止在钻井过程中发生井漏，并确保井壁的稳定。本文对低密度水泥浆体系进行了深入研究，明确了通过优化低密度水泥浆的配方和工艺参数，可以降低水泥浆的密度，从而减少液柱压力，避免对地层造成过大的压力，降低井漏的风险。同时，低密度水泥浆还具有良好的流动性和稳定性，能够确保在复杂地质条件下的钻井安全。在此基础上，对低密度水泥浆体系防漏固井的配套技术序列进行了总结。并最终对该技术的推广应用前景进行了评估，指出了市场需求、技术优势、环保要求和成本控制等因素对其推广应用的影响。本文的研究对于推动低密度水泥浆体系防漏固井技术的进一步应用和发展具有重要意义。

关键词：低密度水泥浆；防漏；配套手段；固井技术；应用前景

1 引言

油气井的固井是钻井工程中的一个重要环节，其目的是确保井壁的稳定，封隔地层，防止油气水层间的相互窜漏，以及控制油气流，为钻进和生产油气提供有利条件。常规的固井流程包括井身准备、套管下入、注水泥、测井和完井等四个环节。井身准备是在固井之前对井身进行处理，确保井壁的清洁和平整。这通常包括清除井壁上的松散岩石、泥浆和其他杂质，以确保固井材料能够充分粘附在井壁上。套管下入是将预制的套管串下入井中的工序。套管是由钢管制成的，其尺寸和强度根据井的深度和地层条件进行选择。套管的下入深度通常要达到目标地层之上，以提供足够的封隔和支撑。注水泥是在套管下入到预定深度后，开始注水泥作业。水泥浆被泵入套管和井壁之间的环形空间，填充并胶结套管和地层。水泥浆的配制需要考虑地层的温度、压力和化学性质等因素，以确保固井的质量和耐久性。在注水泥之后，需要等待一段时间让水泥充分凝固和硬化。这个时间通常根据水泥的种类和地层条件来确定，以确保固井达到足够的强度。当水泥充分凝固后，进行测井作业，检查固井的质量和完整性。如果固井质量符合要求，可以进行完井作业，包括安装井口装置、试压等。随着国内各大油气田开发程度的不断深入，尤其对于老油田后期开发，钻井深度不断加深、固井封固段长度越来越差，同时各类新型钻井工艺、配套增产措施不断涌现，固井质量不佳往往会出现油气层间的二次窜流、水泥浆漏失

等现象。为了稳定油气井的固井质量，水泥浆体系的优化逐渐被重视起来。常规密度的水泥浆体系已经无法解决上述问题的出现，低密度水泥浆体系在固井施工中的优势逐渐体现出来。

2 低密度水泥浆体系概况

低密度水泥浆体系是一种具有较低密度的水泥浆体系，它的主要特点是密度低于常规水泥浆。这一体系在油气井工程中具有重要意义，尤其是针对低压地层、薄弱层等容易发生漏失的地层，可以有效解决低压易漏层的固井问题。在制备低密度水泥浆时，通常采用添加低密度材料和增加水灰比等方法来降低水泥浆的密度。常用的低密度材料包括粉煤灰、膨润土、硅藻土、膨胀珍珠岩等。这些材料的加入可以有效地降低水泥浆的密度，同时改善其流动性和稠化时间。

低密度水泥浆体系在油气井工程中具有多种优势。首先，由于其低密度特性，它可以减轻对地层的压力，降低井漏和井塌的风险。其次，低密度水泥浆通常具有良好的流动性，能够顺利地在井眼中流动和传递，确保固井作业的顺利进行。此外，它还具有适当的稠化时间和硬化性能，能够在规定的时间内达到足够的强度，以支撑和保护井壁。需要注意的是，低密度水泥浆体系在应用中也需要考虑一些因素。例如，选择合适的低密度材料和配方，以确保水泥浆的性能和稳定性。此外，在施工过程中需要严格控制注浆参数，如注浆速度、压力和温度等，以确保固井质量和施工安全。

3 低密度水泥浆体系防漏固井技术

3.1 固井设计原则

固井施工设计时普遍采用平衡压力固井方式，设计的主要原则是确保在固井过程中的环空压力处于平衡状态。也就是环空水泥浆设计压力（静液柱压力+流动阻力）应小于最薄弱地层的破裂压力。这意味着环空压力既不会压漏地层，也不会导致其他异常情况。为了实现这一原则，需要综合考虑多个因素，包括地层的压力、水泥浆的密度和性能、施工工艺参数等。通过精确控制这些因素，可以确保在顶替与候凝过程中环空压力保持平衡，从而有效地防止地层漏失和其他潜在问题。这一原则对于保证固井施工的安全和质量具有重要意义。固井设计时，管内流动阻力计算公式如下：

$$P = \frac{\rho \times \lambda \times L \times V^2}{2d}$$

环空流动阻力计算公式如下：

$$P = \frac{\rho \times \lambda \times L \times V^2}{2(D-d)}$$

式中：

P- 流动阻力，MPa；

P- 流体密度，g/cm³；

λ- 摩擦系数；

L- 流体段长，m；

V- 流速，m/s；

D- 环空外径，mm；

d- 内径，mm。

3.2 低密度水泥浆配置原理

低密度水泥浆体系的颗粒级配原理是为了实现颗粒之间的紧密堆积，以获得较低的密度和良好的流动性。其本质可以形象地理解为“钻空隙”理论。具体来说，颗粒级配是通过选择不同粒径的固体颗粒，按照一定比例进行配合，使得颗粒之间能够相互填充、紧密堆积。这样可以最大限度地减少颗粒之间的空隙，降低水泥浆的密度。同时，合理的颗粒级配还能够改善水泥浆的流动性，使其易于流动。通过合理调整颗粒级配，可以改变水泥浆的物理和化学性质。研究人员可以根据不同钻井地区地质需求，调整颗粒的粒径、形状和配合比例，以获得所需的水泥浆性能，如流动性、凝结时间、强度等。

在低密度水泥浆体系中，常用的颗粒材料包括粉煤灰、膨润土、漂珠、微硅、硅藻土、膨胀珍珠岩等。

这些材料具有较低的密度和良好的颗粒形状，能够实现紧密的堆积效果。通过调整颗粒的配比和粒径分布，可以进一步优化低密度水泥浆的性能，以满足固井工程的要求。需要注意的是，颗粒级配原理在应用过程中需要考虑多种因素，如颗粒的粒径分布、形状、密度等。同时，还需要根据具体情况进行调整和优化，以获得最佳的低密度水泥浆性能。

3.3 配套固井技术手段

3.3.1 先期堵漏

钻井过程中井漏的类型主要包括渗透性漏失、裂缝性漏失和溶洞性漏失。这些漏失类型是由于不同的地质条件和因素引起的。渗透性漏失发生在具有较高渗透性的地层中。当钻井液进入这样的地层时，由于渗透作用，液体会渗透到地层中，导致井筒内压力下降，从而引发井漏。当地层中存在裂缝或裂隙时，钻井液可能会流入这些裂缝中，导致裂缝性漏失。这种漏失通常发生在脆性地层或受到地质应力作用的地层中，裂缝的存在使得钻井液容易流失。在有些地层中，存在溶洞或洞穴系统。当钻井液遇到这样的地层时，液体可能会迅速流入溶洞中，导致严重的漏失情况。这种漏失类型通常发生在碳酸盐岩等可溶解岩石的地层中，被称为溶洞性漏失。钻井过程中发生的漏失常用降低钻井液密度、提高粘度和切力、注水泥浆封堵、注桥塞泥浆和化学凝胶等方法堵漏。

对于不同类型的井漏，采取的堵漏措施和材料也会有所不同。因此，在钻井过程中，准确判断井漏的类型是非常重要的，以便选择适当的堵漏方法和材料，从而有效地解决井漏问题，缓解钻井工程的压力。固井作业前通常都要进行先期堵漏，最大程度上提高地层的稳固性能，为后期固井作业提供相对稳定的作业基础和固井设计依据。

3.3.2 工艺防漏

在固井工艺上采取防漏措施主要包括以下几个方面：①控制固井施工参数。在固井施工过程中，严格控制注入速度和压力，避免过高的注入速度或压力引发地层破裂和漏失。根据井下情况，及时调整施工参数，确保固井液均匀填充井筒，并减少地层漏失的风险；②地层预处理。在固井之前，可以对地层进行预处理，如注入堵漏剂、膨润土等材料，提前堵塞潜在的漏失通道，减少固井过程中的漏失可能性；③实时监测和调整。在固井施工过程中，应实时监测井筒压力和固井液的返高情况。一旦发现异常或漏失迹象，

及时采取调整措施,如降低注入速度、增加堵漏剂等,以确保施工的顺利进行。

3.3.3 低密度水泥浆体系防漏

低密度水泥浆体系的防漏工艺主要包括以下几个步骤:①地层评估。首先对目标地层进行详细的地质评估,了解地层的岩性、孔隙度、渗透率等参数,以确定漏失的潜力和风险;②选择适当的低密度水泥浆配方。根据地层评估结果,选择适合的低密度水泥浆配方。该配方应具有较低的密度,同时保持良好的流动性、稳定性和封堵能力;③施工准备。准备好必要的设备和工具,确保施工现场的安全和清洁。同时,对固井设备进行检查和校准,确保其正常运行;④注浆施工。将配制好的低密度水泥浆通过注浆设备注入井筒中,注意控制注浆的速度和压力,确保水泥浆能够充分填充地层裂缝和孔隙;⑤实时监测和调整。在注浆过程中,实时监测井筒的压力和水泥浆的返高情况。根据监测结果,及时调整注浆参数,确保施工的顺利进行;⑥施工后评估。在注浆完成后,对固井质量进行评估,包括水泥石的强度、密封性等。如有需要,可以进行补救措施,确保固井施工的成功和防漏效果。需要注意的是,低密度水泥浆体系的防漏工艺需要综合考虑地层条件、水泥浆性能、施工设备等多个因素,确保每个环节的协调和配合,以达到最佳的防漏效果。

3.3.4 科学的施工措施

水泥浆注入前应首先用冲洗液对环空段进行冲洗,确保在环空形成足够长度的低粘切冲洗液柱。该操作的目的一是为了对钻井液进行稀释,并对疏松的泥饼进行冲洗,便于顶替。二是利用冲洗液粘切小、流动性高、易于达到紊流的特性来提高顶替效率。为了确保施工安全,水泥浆注入施工完毕后应采用重泥浆顶替,降低施工压力。当采用复合流顶替时,排量应小于钻进排量,确保水泥浆在各种流态下顶替。若压力明显升高,此时可以采取降低排量的手段提高水泥浆顶替效率。此外,多级注水泥技术可以根据地层的特点和施工要求,调整每段水泥浆的性能和注入量。这种技术可以提高水泥浆的顶替效率和封堵能力,避免单一注水泥方式可能出现的窜槽或漏失问题。

4 技术的推广应用前景分析

随着石油、天然气等资源的开采难度不断加大,钻探过程中防漏固井技术的需求也日益迫切。低密度水泥浆体系作为一种有效的防漏固井技术,其在提高固井质量、保护油气层等方面具有显著优势。其具有

较低的密度,能够降低套管外液柱压力,减少水泥浆滤液和固体颗粒侵入油气层,有利于保护油气层。此外,该技术还能够提高固井质量和套管的使用年限,降低钻井成本。尤其是针对复杂地质环境下的钻井工程,防漏固井技术是确保钻井安全、提高油气产量的关键。因此,该技术具有广阔的应用前景。然而,要实现低密度水泥浆体系防漏固井技术的广泛应用,还需要克服一些技术难题和市场挑战。例如,需要进一步研究和优化低密度水泥浆的配方和性能,以提高其适应性和稳定性;同时,还需要加强市场推广和宣传工作,提高该技术的知名度和市场认可度。在未来,随着技术的不断进步和市场需求的持续增长,该技术有望得到更广泛的应用。

参考文献:

- [1] 马如然,宗勇,闫振峰,张新傑,陈绪.粉煤灰—矿渣低密度水泥浆体系研究与评价[J].西部探矿工程,2023,35(10):34-37.
- [2] 符豪,孙一流,徐伟宁,刘波,邓天安,赵正超.裂缝性地层承压堵漏新工艺技术及应用[J].钻采工艺,2023,46(04):137-143.
- [3] 杨振科,何军,张清,贾聚全,郭雪利,张弛.低密度水泥浆在吉林油田低压易漏地层固井中应用[J].内蒙古石油化工,2023,49(06):97-101.
- [4] 宋伟宾,卢海川,周雪,滕兆健,刘勇,李建华.合川001-84-H1井固井水泥浆体系研究与应用[J].西部探矿工程,2022,34(06):69-73.
- [5] 王涛,侯云翌,马振锋,杨先伦,段玉秀.粉煤灰-微硅-水泥三元复合低密度充填水泥浆在页岩油水平井的应用[J].硅酸盐通报,2022,41(04):1380-1387+1415.
- [6] 宋亚楠,冯建建,石礼岗,丁嘉迪.一种高温低密度高强水泥浆的研究及在墨西哥湾的应用[J].科学技术创新,2022(02):97-100.
- [7] 马腾飞,杨刚,孙晗森.潘河区块高性能超低密度水泥浆研制及应用[J].大庆石油地质与开发,2022,41(04):74-81.
- [8] 秦江,宋凯,文华,胡顺,彭石峰.纳米低密度水泥浆体系在页岩油水平井固井中的应用[J].长江大学学报(自然科学版),2021,18(02):55-61.
- [9] 刘兆年,岳家平,王杰,孙挺,武治强.适用于深水浅层疏松砂岩地层的水泥浆体系外加剂优选技术研究[J].化学与粘合,2021,43(01):12-16.