

石油钻井工程防漏堵漏技术分析

刘金利

中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司 天津 300452

摘要：石油钻井工程中的井漏问题复杂多变，准确判断漏失类型、合理选择堵漏材料及优化堵漏施工工艺是提高防漏堵漏效果的关键。本文分析了石油钻井工程渗漏的主要影响因素，包括漏层位置难以精确、渗漏范围难以判定及漏层压力难以确定。介绍了物理、化学及复合防漏堵漏技术，并详细阐述了防漏堵漏技术的应用要点，通过综合运用多种技术手段，石油钻井工程中的井漏问题可得到有效解决，确保工程安全与效率。

关键词：石油；钻井工程；防漏堵漏；技术分析

引言

石油钻井工程中的井漏问题一直是行业面临的重大挑战，井漏不仅影响钻井进度，还可能引发安全事故，造成资源损失。所以研究石油钻井工程中的防漏堵漏技术具有重要意义，本文将从渗漏的主要影响因素、常用防漏堵漏技术及技术应用要点三个方面，探讨如何有效解决石油钻井工程中的井漏问题，为工程实践提供理论参考。

1 石油钻井工程渗漏的主要影响因素

1.1 漏层位置无法精确

石油钻井工程中的井漏问题是一项极为复杂且充满挑战的技术难题，其核心难点在于精确判定漏层位置。这一挑战源自地下油藏结构的复杂性、流体运动规律的难以捉摸性，以及现有理论模型在应对实际地质条件时的局限性。尽管科研人员已探索并提出诸如水动力学模型和油柱理论等多种理论模型，试图通过数学和物理原理揭示并描述地下油藏的结构特征及流体动态行为，但在实际操作中，这些模型往往难以全面应对地质构造的多样性、岩石性质的显著差异及地下流体复杂多变的动态特性。在石油钻井实践中，漏层的精确定位更多依赖于钻井工程师和技术人员的现场判断，他们需结合地质勘探数据、钻井日志和实时监测信息等多元资料进行综合分析和推断。但是这种依赖人工判断的方法虽有一定效果，但其效率和准确性却受到工作人员经验和技能水平、现场条件限制等多重因素的制约，一旦漏层位置判断出现偏差，将直接影响井漏问题的及时发现和处理，不仅可能加剧资源损失、延长作业时间、增加成本，还可能对环境和作业安全构成潜在威胁，同时导致防渗和堵漏工作效果大打折扣^[1]。

1.2 渗漏范围的大小无法判定

渗漏在石油钻井工程中看似简单实则极为复杂的物

理现象，常常因其难以被准确判断而成为一大难题，地层的复杂性和不确定性使得渗漏的范围与程度被笼罩在一片迷雾之中，尽管工程师们借助了最精密的探测技术与设备，试图揭开这层迷雾并精确定位渗漏的位置与范围，但效果往往并不理想。渗漏往往伴随着地层微小裂缝或孔隙的悄然扩张，这些细微的变化在庞大的地层结构中犹如沧海一粟，极难被及时发现和精确定位，随着时间的推移，渗漏范围会逐渐扩大，犹如雪球越滚越大，最终可能演变成大规模的井漏事故，这一过程不仅极大地增加了防漏堵漏的难度，更对钻井工程的安全与效率构成了严重威胁。为了有效应对这一挑战，石油钻井工程团队必须准备充足且种类繁多的堵漏材料，从传统的水泥浆、膨润土到现代的化学堵漏剂应有尽有，它们各自拥有独特的作用机理，有的通过物理填充来封堵裂缝，有的则利用化学反应来固化渗漏区域。无论采用何种材料，工程师们都需要根据渗漏的实际情况进行灵活的选择与搭配，以期达到最佳的堵漏效果，所以在石油钻井工程中，面对井漏这一棘手问题，工程师们既要依赖先进的设备与仪器进行精确的探测与定位，更要凭借丰富的经验和敏锐的洞察力来应对地层的复杂性和不确定性所带来的挑战，只有这样才能在确保工程安全与效率的同时，将井漏问题的影响降至最低。

1.3 漏层压力难以确定

漏层压力作为反映地层特性的关键指标，对钻井作业的安全与效率具有直接影响。然而，在实际操作中，准确测定漏层压力却是一项棘手的任务。当前，业界主要依赖分析邻区钻井资料和地震资料来推测漏层压力，但这种方法存在显著局限性。地层的复杂性和多变性导致压力分布高度非均质且动态变化，不同地层间乃至同一地层内部压力差异可能极大，使得仅依靠邻区资料难以精确捕捉目标井位的具体压力特征。同时地震资料虽

能揭示地层结构和构造特征,为压力预测提供线索,但受限于分辨率和解释精度,对小范围或局部压力异常的捕捉能力有限,进一步增加了压力预测的不确定性。这种压力确定上的困难,使得工程师在处理井漏情况时缺乏关键依据,难以准确选择堵漏材料和制定合理堵漏方案,因为不同材料适用于不同压力环境,错误选择可能导致堵漏效果不佳甚至引发更严重事故。此外,制定堵漏方案时需根据漏层压力大小和分布调整钻井液密度、注入速度等参数,但在压力不确定的情况下,这些参数的调整往往只能依赖经验和猜测,从而显著增加了井漏处理的难度和不确定性。

2 石油钻井工程常用防漏堵漏技术

2.1 物理防漏堵漏技术

物理防漏堵漏技术的精髓在于对钻井液性能的精细调控与钻井操作过程的严格控制,这两方面共同构成了预防井漏的坚固防线。技术人员需依据地层特性,精准调整钻井液的密度、黏度和切力等核心参数:在低压地层中,适当降低钻井液密度,防止液柱压力过高压裂地层;而在易坍塌地层,则通过增加钻井液的黏度和切力,强化其对井壁的支撑,避免井壁失稳垮塌引发井漏。控制起下钻速度和泵的排量同样至关重要,过快的起下钻速度会引发剧烈压力波动,增加地层压裂风险,因此需根据地层实际平稳操作;而泵的排量过大则会导致环空压力骤升,加剧井漏隐患,故需综合井眼尺寸、钻具组合等因素,精确计算并调整排量,确保钻井压力稳定。在堵漏方面,物理防漏堵漏技术亦展现出显著优势,如静止堵漏法,通过停止钻进作业,让钻井液静止沉淀,利用固相颗粒在漏失通道处堆积形成堵塞层,适用于小量、简单漏失情况;而颗粒桥接堵漏技术,则是将不同粒径的颗粒材料如核桃壳、云母片、纤维等加入钻井液,随液循环至漏失层堆积架桥,形成稳定堵塞结构,实现堵漏目的,选择颗粒时需充分考虑漏失通道特性,合理搭配粒径,以提升堵漏成效^[1]。

2.2 化学防漏堵漏技术

化学防漏堵漏技术作为石油钻井工程的关键组成部分,凭借其化学反应的独特性,在解决各类复杂漏失问题上发挥着至关重要的作用。该技术依赖于多样化的化学堵漏剂,针对不同漏失类型提供精确有效的解决方案。面对裂缝型漏失,凝胶类堵漏剂在特定条件下发生凝胶化反应,迅速转化为高强度且具韧性的凝胶体,紧密贴合裂缝表面,有效填充裂缝,形成坚实屏障,阻止钻井液漏失。但是其使用需精确控制配方与反应条件,技术人员需依据地层特性、裂缝尺寸等现场情况精心调

配并监控反应过程,以确保凝胶体在最佳时机与位置形成,达到最佳堵漏效果。对于孔洞型漏失,树脂类堵漏剂则展现独特优势,进入孔洞后在一定温度和压力条件下固化,转化为坚硬固体,紧密贴合孔洞壁面,形成有效封堵层,固化后强度与稳定性足以应对复杂地质环境。实际应用中,技术人员需根据孔洞尺寸、深度及地层温度等关键因素,精心选择树脂种类与固化剂,确保堵漏效果的可靠与持久。尽管化学防漏堵漏技术在堵漏效果上卓越,能应对多种复杂情况,但其也存在局限性,如部分堵漏剂可能对环境造成污染且成本较高,所以技术人员在使用时需综合考虑地层特性、漏失类型、环境要求及经济效益等因素,权衡利弊,制定最合适堵漏方案。

2.3 复合防漏堵漏技术

复合防漏堵漏技术作为石油钻井工程中的一项革新性解决方案,将物理与化学防漏堵漏技术巧妙结合,旨在通过两者的协同作用显著提升防漏效能。面对复杂多变的漏失挑战,该技术首先利用物理手段进行初步干预,如采用颗粒桥接堵漏技术,通过精心挑选的物理颗粒材料在漏失通道内堆积架桥,形成初步的物理堵塞屏障,有效减缓漏失速度,为后续处理赢得时间。这一过程要求颗粒材料的合理选择与搭配,以及注入速度与压力的精准控制,以确保物理堵塞结构的稳定与有效。复合防漏堵漏技术引入化学堵漏剂,这些堵漏剂在物理堵塞基础上进一步发挥作用,通过化学反应固化、膨胀或凝胶化,形成更为牢固稳定的堵塞结构。化学堵漏剂的选择需综合考虑地层特性、漏失通道尺寸与形状,以及物理堵塞效果,以确保与物理堵塞结构良好互补,共同增强堵漏效果。化学堵漏剂的注入时机、浓度及反应条件均需精确调控,以最大化堵漏效能并减少环境影响。复合防漏堵漏技术的高度适应性和针对性,使其能够针对不同地质条件、漏失类型及严重程度,灵活调整物理与化学方法的使用顺序、材料用量及注入策略,实现最优堵漏方案,不仅提高了堵漏成功率,还大幅缩短了堵漏时间,降低了成本,为石油钻井工程的平稳推进提供了坚实保障^[3]。

3 石油钻井工程防漏堵漏技术应用要点

3.1 准确判断漏失类型

在石油钻井工程中准确判断漏失类型是采取有效防漏堵漏措施的首要且关键环节,不同类型的漏失,其成因、特征和处理方法各异。渗透型漏失源于地层孔隙较大,钻井液在压差驱动下缓慢渗入地层孔隙,漏失速度较慢且量相对较小。裂缝型漏失则因地层中存在的天然

裂缝或钻井过程中诱发的裂缝所致,钻井液通过这些裂缝迅速漏失,速度较快且量大,漏失通道多呈规则线状或网状。孔洞型漏失则由于地层中的溶洞、溶蚀孔洞等大型空洞引起,钻井液直接流入这些空洞,导致漏失速度极快且量巨大。为了精确辨识漏失类型,需综合运用多种方法:实时监测和分析钻井过程中的参数变化,如钻井液返出量减少、泵压下降、井口流量异常等,初步判断井漏发生;观察漏失特征,如速度、连续性等,结合地质资料了解地层岩性、构造信息,辅助判断可能的漏失类型;采用井下电视、声波成像等专门测试手段,直观观测井壁和漏失通道状况,从而准确确定漏失类型,为后续采取针对性的防漏堵漏措施提供坚实基础。

3.2 合理选择堵漏材料

在石油钻井工程中,确定了漏失类型后,合理选择堵漏材料成为确保防漏堵漏效果的核心步骤。这一选择需全面考虑漏失通道的大小、形状、性质,以及地层的岩性、压力和钻井液性能等多重因素。针对渗透型漏失,由于漏失通道主要为地层的小孔隙,可选用粒径小、填充性能优异的材料,如超细碳酸钙、膨润土等,它们能在钻井液带动下有效堆积于孔隙中,形成堵塞,防止钻井液继续渗漏。对于裂缝型漏失,需根据裂缝宽度精选堵漏材料:窄裂缝适宜采用纤维材料交织搭桥,辅以膨胀性材料填充,而宽裂缝则先以较大粒径颗粒初步填充,再加固其他材料。至于孔洞型漏失,因其漏失通道空间广阔,需选用能快速形成高强度堵塞的材料,如先用刚性材料初步填充孔洞,再注入水泥浆或高强度化学堵漏剂,构建稳固的封堵结构,而且材料的选择还需兼顾其与地层和钻井液的兼容性,避免不良反应影响堵漏成效或损害地层^[4]。

3.3 优化堵漏施工工艺

优化堵漏施工工艺对于提高石油钻井工程中防漏堵漏的成功率和效率具有决定性意义。在施工前,需精心

制定施工方案,涵盖堵漏材料的精确配方与用量、适合的注入方式、施工设备的选择与调试,以及全面的安全措施。方案制定需基于漏失类型、漏失通道的大小与复杂性等因素,特别是裂缝型漏失,需精确计算裂缝宽度与长度以确定堵漏材料体积与配比,确保形成有效的堵塞结构。注入方式的选择同样关键,小漏失量、简单通道可采用直接注入,而大量漏失或复杂通道则需分段注入、循环注入等策略。分段注入通过分阶段注入并等待材料堆积固化,提升填充效果;循环注入则确保材料均匀分布于漏失通道,增强堵漏均匀性。施工过程中,需严格控制注入压力与速度,避免过高导致通道扩大或过低影响材料输送,过快导致分布不均或过慢降低效率。根据实际情况实时调整参数,加强施工监测,及时发现并解决材料堵塞管道、注入压力异常等问题,确保堵漏施工的质量、效率与安全。

结语

综上所述,石油钻井工程中的防漏堵漏技术涉及多个方面,需要综合运用物理、化学及复合等多种技术手段。通过准确判断漏失类型、合理选择堵漏材料及优化堵漏施工工艺,可以有效解决井漏问题,确保钻井工程的安全与效率。未来,随着技术的不断进步,石油钻井工程中的防漏堵漏技术将更加完善,为石油资源的开发提供有力保障。

参考文献

- [1]陈建林.石油钻井工程中防漏堵漏工艺的应用[J].石化技术,2022,29(3):75-76.
- [2]井亚洁,徐鹏,于海超.石油钻井工程的防漏堵漏工艺研究[J].化工设计通讯,2022,48(8):19-21.
- [3]贾磊.石油钻井工程防漏堵漏工艺技术探究[J].探索科学,2021(4):322-323.
- [4]蒋红宗.防漏堵漏技术在石油钻井工程中的应用[J].化工管理,2022(2):157-159.