

致密油水平井井壁稳定的钻井液技术研究与应用

张友雄

华北石油工程公司五普钻井分公司 河南 郑州 450000

摘 要：致密油水平井井壁稳定是钻井过程中的关键挑战。本文深入研究了钻井液技术在确保井壁稳定中的应用，探讨了地质条件、钻井工艺及环境保护对钻井液性能的要求。通过优化钻井液体系选择、性能参数调整及环保处理流程，有效提升钻井液的抑制性、封堵性和环保性。研究成果为致密油水平井钻井提供了技术支持，提高钻井作业的安全性和效率。

关键词：致密油；水平井；井壁稳定；钻井液技术

1 致密油水平井钻井液性能要求与评价标准

1.1 基本性能要求

致密油水平井钻井液的基本性能要求主要包括以下几个方面：（1）密度。钻井液的密度是调节钻井液静液柱压力、平衡地层孔隙压力、防止井喷和井塌的关键因素。致密油水平井钻井液的密度必须根据所钻地层的孔隙压力、破裂压力以及钻井液的流变参数进行合理设置，确保钻井作业的安全性和稳定性；（2）粘度。粘度是衡量钻井液流动性能的重要指标。适当的粘度有助于钻井液在井眼中形成稳定的悬浮液，携带岩屑至地面，并保持井眼的清洁。致密油水平井钻井液的粘度应根据地层特性和钻井工艺要求进行调节，既要保证钻井液的流动性，又要防止因粘度过高导致的泥包钻头或卡钻等问题；（3）滤失量。滤失量是指钻井液在井壁形成滤饼过程中滤失的液体量。低滤失量有助于形成薄而致密的滤饼，提高井壁的稳定性。致密油水平井钻井液应具有良好的滤失控制性能，确保在钻井过程中滤失量控制在合理范围内，减少对地层的损害；（4）pH值。钻井液的pH值对钻井液的性能和稳定性有重要影响。适当的pH值可以防止钻具的腐蚀，保持钻井液的稳定性和流动性。致密油水平井钻井液的pH值应根据钻井液类型和地层特性进行合理设置，确保钻井作业的安全性和高效性；（5）含砂量。含砂量是指钻井液中固体颗粒的含量。高含砂量会增加钻具的磨损，降低钻井液的流动性和携岩能力。致密油水平井钻井液应严格控制含砂量，确保钻井液的清洁度和流动性。

1.2 特殊性能要求

除了基本性能要求外，致密油水平井钻井液还需满足以下特殊性能要求：致密油储层往往具有强水敏性和盐敏性，易发生水化膨胀和分散。因此钻井液应具有良好的抑制性能，防止黏土矿物水化膨胀，保持井壁的稳

定性和钻井效率。致密油水平井钻井过程中，钻具与井壁之间的摩擦阻力较大，易导致卡钻等井下复杂情况^[1]。钻井液应具有良好的润滑性能，降低钻具与井壁之间的摩擦阻力，提高钻井作业的安全性和效率。随着环保要求的提高，钻井液的环保性变得越来越重要。致密油水平井钻井液应无毒、易生物降解，对地层损害小，符合环保法规和标准。钻井过程中可能遭遇地层污染物，如地层水、油气等。钻井液应具有良好的抗污染能力，在遭遇地层污染物时仍能保持稳定的性能和流动性。致密油储层裂缝发育，易发生井壁剥落和坍塌。钻井液应具有良好的封堵性能，通过物理封堵和化学封堵相结合的原理，对地层裂缝进行有效封堵，提高井壁的稳定性。

2 致密油水平井井壁失稳机理分析

2.1 地质因素

致密油水平井井壁失稳的地质因素主要包括地层的岩性、构造应力、孔隙压力以及微裂缝发育程度等。致密油储层往往由泥页岩、砂岩等复杂岩性组成，这些岩石对水敏性强，易与水发生物理化学反应，导致岩石强度降低。高构造应力地层的应力释放、异常压力地层的压力波动以及含有大量微裂缝的地层，都可能导致井壁岩石在钻井过程中发生剪切或拉伸破坏，从而引发井壁失稳。

2.2 钻井液因素

钻井液作为钻井过程中的关键介质，其性能对井壁稳定性具有重要影响。钻井液的密度、粘度、滤失量、pH值以及抑制性等性能参数，都会直接或间接地影响井壁的稳定性。例如，钻井液密度过低可能无法平衡地层孔隙压力，导致井壁岩石坍塌；钻井液粘度过高则可能增加钻具与井壁之间的摩擦阻力，引发卡钻等复杂情况。钻井液的抑制性能不足，无法有效抑制泥页岩的水化膨胀，也是导致井壁失稳的重要原因之一。

2.3 工程因素

工程因素也是导致致密油水平井井壁失稳的重要原因。钻井过程中的钻头选型、钻井参数设置、起下钻速度、钻井液排量等工程操作,都会对井壁稳定性产生影响。例如,钻头选型不当可能导致井眼不规则,增加井壁岩石的应力集中程度;钻井参数设置不合理,如钻井液排量过大,可能过度冲刷井壁,破坏井壁岩石的完整性;起下钻速度过快则可能引发压力波动,导致井壁岩石破裂。钻井过程中的井眼轨迹控制、钻井液体系选择以及流变性能与地层特性的匹配程度等,也会对井壁稳定性产生重要影响。

3 致密油水平井井壁稳定钻井液技术研究

3.1 钻井液体系选择

在致密油水平井钻井过程中,选择合适的钻井液体系是确保井壁稳定的关键。首先,致密油储层往往具有低孔低渗、水敏性强、易坍塌等特点,因此钻井液体系必须具有较强的抑制性和封堵性。常用的钻井液体系包括水基钻井液、油基钻井液、合成基钻井液等。其中,水基钻井液由于成本低、环保性好等优点,在致密油水平井钻井中应用广泛。针对致密油储层的水敏性问题,传统的水基钻井液可能无法满足要求,因此需要对水基钻井液进行改性,如加入钾盐、沥青类处理剂等,以提高其抑制性和封堵性。其次,钻井液体系的选择还需要考虑储层的压力系数和渗透率等因素^[2]。对于高压储层,需要选择密度较高的钻井液以平衡地层压力;对于低渗储层,则需要选择低滤失量、高抑制性的钻井液以减少对储层的损害。钻井液体系的选择还应考虑与储层岩石的配伍性,确保钻井液在钻井过程中不会与储层岩石发生化学反应,从而保持储层的原始物性。近年来,随着钻井技术的不断发展,一些新型的钻井液体系也逐渐应用于致密油水平井钻井中。

3.2 钻井液性能优化

在选择了合适的钻井液体系后,还需要对钻井液的性能进行优化,以确保其在钻井过程中能够充分发挥作用。提高抑制性是钻井液性能优化的重点之一。针对致密油储层的水敏性问题,可以通过在钻井液中加入钾盐、沥青类处理剂、聚合物抑制剂等,来降低泥页岩的水化膨胀性,提高井壁的稳定性。还可以通过调整钻井液的pH值、离子浓度等参数,来优化钻井液的抑制性能。封堵性是钻井液性能的另一个重要方面,在致密油水平井钻井过程中,钻井液需要能够有效地封堵地层裂缝和微孔隙,防止钻井液滤失和地层流体侵入。为此,可以在钻井液中加入纳米乳液封堵剂、纤维素类封堵剂

等,以提高钻井液的封堵性能。润滑性也是钻井液性能优化的重要内容,良好的润滑性能可以降低钻具与井壁之间的摩擦阻力,减少钻具磨损和能量消耗。可以通过在钻井液中加入润滑剂、抗磨剂等,来提高钻井液的润滑性能。携岩能力是指钻井液携带岩屑至地面的能力,在致密油水平井钻井过程中,由于井眼轨迹复杂、井眼长度长,因此钻井液需要具备较强的携岩能力。可以通过调整钻井液的粘度、密度等参数,以及加入携岩剂等,来提高钻井液的携岩能力。随着环保要求的不断提高,钻井液的环保性也成为了性能优化的重要方向。可以通过选择环保型处理剂、优化钻井液配方等方式,来降低钻井液对环境的污染。

3.3 钻井液与储层保护技术

在致密油水平井钻井过程中,钻井液不仅需要确保井壁的稳定性和钻井工程的顺利进行,还需要尽可能地保护储层,减少对储层的损害。可以通过优化钻井液体系的选择和性能参数,来提高钻井液的储层保护性能。可以采用屏蔽暂堵技术来保护储层,屏蔽暂堵技术是一种利用物理或化学方法,在井壁形成一层致密的屏蔽层,阻止钻井液滤失和地层流体侵入的技术。常用的屏蔽暂堵剂包括碳酸钙、沥青类处理剂、聚合物等。通过将这些屏蔽暂堵剂加入到钻井液中,可以在井壁形成一层致密的屏蔽层,有效保护储层。还可以采用近平衡压力钻井技术来减少对储层的损害,近平衡压力钻井技术是一种通过精确控制钻井液密度和井底压力,使井底压力与地层压力保持平衡或接近平衡的钻井技术。采用近平衡压力钻井技术可以减小钻井液对储层的压力差,降低钻井液滤失和地层流体侵入的风险,从而保护储层。钻井液与储层保护技术还需要与钻井工程的其他环节相配合,形成一套完整的钻井工程体系。

4 致密油水平井井壁稳定钻井液技术优化策略

4.1 基于地质条件的优化策略

在致密油水平井钻井过程中,地质条件是影响井壁稳定性的关键因素之一。首先,要深入分析致密油储层的地质特征,包括岩性、物性、构造应力、孔隙压力以及裂缝发育情况等。这些地质特征直接决定了钻井液所需具备的性能。对于裂缝发育的地层,钻井液应具备良好的封堵性,以有效阻止钻井液滤失和地层流体侵入。针对地质条件的不同,可以选择或调整钻井液体系^[3]。对于水敏性地层,可以采用钾盐钻井液、聚合物钻井液等具有强抑制性的钻井液体系。这些钻井液体系中的抑制剂能够有效吸附在泥页岩表面,形成一层致密的保护膜,阻止水分子的侵入,从而保持井壁的稳定性。对于

裂缝发育地层,可以加入适量的封堵剂,如纤维素、沥青类处理剂等,以提高钻井液的封堵性能。可以根据地质条件调整钻井液的性能参数,还可以通过调整钻井液的粘度、切力等流变性能,优化钻井液的携岩能力和悬浮性能,确保钻井过程的顺利进行。在实施基于地质条件的优化策略时,还需要充分考虑地质条件的动态变化。随着钻井深度的增加,地层压力和温度也会发生变化,这可能会对钻井液的性能产生影响。因此在钻井过程中应实时监测钻井液的性能变化,并根据实际情况进行及时调整,以确保钻井液始终保持良好的性能状态。

4.2 基于钻井工艺的优化策略

钻井工艺是影响井壁稳定性的另一个重要因素。基于钻井工艺的优化策略旨在通过优化钻井参数、改进钻井工具和提高钻井技术水平,来增强钻井液在钻井过程中的稳定性和适应性。在钻井参数方面,应合理设置钻压、转速、排量等参数,以确保钻井过程的平稳进行。过高的钻压可能导致钻头过度磨损和井壁破裂,而过低的钻压则可能影响钻井效率。转速和排量的设置也应根据地层特性和钻井液性能进行调整,以优化钻井液的携岩能力和清洗效果。钻井工具的选择和改进也是提高井壁稳定性的重要手段。还可以采用先进的井下工具和测量设备,实时监测井眼轨迹和地层压力变化,为钻井液性能的调整提供准确的数据支持。提高钻井技术水平是增强钻井液稳定性和适应性的关键,通过不断研发和创新钻井技术,可以解决钻井过程中遇到的各种复杂问题,如井壁坍塌、卡钻等。同时加强钻井液与钻井工程的协同作用,形成一套完整的钻井工程体系,提高钻井作业的整体效率和安全性。

4.3 基于环境保护的优化策略

随着环保意识的不断提高,基于环境保护的钻井液技术优化策略也日益受到重视。这一策略旨在通过选择环保型钻井液体系、减少钻井液排放和优化钻井液处理流程等措施,降低钻井作业对环境的污染。在选择钻井液体系时,应优先考虑环保型钻井液。这些钻井液体系

通常采用无毒、易生物降解的处理剂,对环境的污染较小。还应加强对钻井液性能的研究和开发,不断提高环保型钻井液的性能水平,以满足钻井作业的需求^[4]。减少钻井液排放是降低环境污染的重要措施之一,在钻井过程中,应严格控制钻井液的排放量,确保钻井液在循环使用过程中得到充分利用。还可以采用先进的钻井液回收和处理技术,将废弃的钻井液进行回收和处理,减少其对环境的污染。优化钻井液处理流程也是降低环境污染的重要手段,在钻井液的处理过程中,应采用高效、环保的处理设备和技术,确保处理过程的顺利进行。加强对处理过程中产生的废弃物的管理和处置,防止其对环境造成二次污染。在实施基于环境保护的优化策略时,还需要加强环保法规和标准的学习和宣传。通过提高钻井作业人员的环保意识和法律意识,确保钻井作业过程中的环保措施得到有效执行。

结束语

本文致力于致密油水平井井壁稳定的钻井液技术研究,通过系统分析与实践应用,取得了显著成果。未来,将继续深化钻井液技术的研发与创新,推动其在致密油开采中的广泛应用。同时将注重环保与可持续发展,为致密油产业的高质量发展贡献力量。

参考文献

- [1]王博.致密油水平井井壁稳定的钻井液技术研究与应用[J].西部探矿工程,2021,33(8):83-85,89.DOI:10.3969/j.issn.1004-5716.2021.08.028.
- [2]张文哲,李伟,王波,等.延长油田致密油藏水平井强封堵钻井液优选与现场应用[J].化学,2019,36(2):191-195,235.DOI:10.19346/j.cnki.1000-4092.2019.02.001.
- [3]王俊杰.强抑制胺基钻井液在致密油水平井中的应用[J].西部探矿工程,2020,32(3):125-126,130.DOI:10.3969/j.issn.1004-5716.2020.03.041.
- [4]贾彦强,孙欢,严圣飞.致密气藏超长水平段井钻井液技术研究与应用[J].石化技术,2021,28(7):97-99.DOI:10.3969/j.issn.1006-0235.2021.07.043.