

石油钻井施工中钻井液的选择及使用

刘日淦

中海油田服务股份有限公司湛江分公司 广东 湛江 524057

摘要: 钻井液在石油钻井施工中起着举足轻重的作用,其性能的优劣直接关系到钻井作业的成败、效率以及成本控制。本文详细阐述了钻井液在石油钻井中的重要功能,深入分析了影响钻井液选择的各类因素,包括地质条件、钻井工艺、环保要求等。对常见的水基钻井液、油基钻井液、合成基钻井液等类型进行了全面对比,探讨了它们的优缺点及适用场景。同时,结合实际施工过程,阐述了钻井液的合理使用方法、现场维护要点以及出现问题时的应对策略,旨在为石油钻井工程提供科学的钻井液选用与使用指导,保障钻井作业顺利、高效进行。

关键词: 石油钻井; 钻井液; 选型; 现场使用; 性能维护

引言: 石油作为全球最重要的能源资源之一,其开采过程涉及众多复杂且精细的技术环节,而石油钻井则是整个石油开采链条的开端,是获取地下石油资源的关键步骤。在钻井施工中,钻井液绝非仅仅是用于冷却钻头、携带岩屑的简单介质,它宛如钻井工程的“血液”,贯穿于钻井作业的全过程,从井眼的形成、稳定到保护油气层,再到提高钻井效率、降低成本以及满足环保要求等各个方面,都发挥着不可或缺的关键作用。因此,深入研究钻井液的选择及使用,对于石油钻井工程的成功实施具有极其重要的现实意义。

1 钻井液在石油钻井中的重要功能

1.1 井眼清洁与岩屑携带

钻井过程中,钻头不断破碎岩石,产生大量岩屑。钻井液必须具备强大的悬浮和携带能力,将这些岩屑及时从井底带出井口,防止岩屑在井眼中堆积,避免造成卡钻等严重事故。例如,在深井、超深井钻井时,随着井深增加,岩屑上返难度增大,钻井液的携岩性能就显得尤为重要。通过合理调整钻井液的流变性能,如提高粘度、切力,使其能够形成足够的悬浮力,确保岩屑顺利上返,保障钻井作业的连续性。

1.2 井壁稳定

井壁稳定是钻井施工的基本要求。钻井液能够在井壁上形成一层薄而致密的泥饼,这层泥饼可以封堵井壁的孔隙,阻止地层流体侵入井眼,同时平衡地层压力,防止井壁坍塌或缩径。不同地层的岩石特性各异,如页岩地层易水化膨胀,砂岩地层孔隙度较大,钻井液需要根据地层特性调整成分与性能,以维持井壁的稳定。对于易坍塌地层,可在钻井液中添加防塌剂,增强泥饼的质量,提高井壁的抗坍塌能力^[1]。

1.3 冷却钻头与润滑钻具

钻头在高速旋转切削岩石过程中会产生大量热量,若不能及时散热,将导致钻头过早磨损甚至损坏。钻井液在循环过程中能够吸收钻头产生的热量,起到冷却作用,延长钻头寿命。此外,钻井液还可为钻具提供润滑,减少钻具与井壁、钻具之间的摩擦阻力,降低扭矩,有利于提高钻井速度,特别是在大位移井、水平井钻井中,润滑作用更为关键,可有效防止卡钻、减少能量消耗。

1.4 保护油气层

油气层是石油开采的核心目标,钻井液若选择或使用不当,可能会对油气层造成不可逆的损害。一方面,钻井液的固相颗粒可能会侵入油气层孔隙,堵塞渗流通道,降低油气层渗透率;另一方面,钻井液与油气层流体不配伍,可能引发化学反应,产生沉淀、乳化等现象,同样损害油气层产能。因此,在钻井过程中,需要选用低固相、低损害的钻井液体系,并严格控制钻井液的密度、滤失量等参数,尽可能减少对油气层的损害,确保油气资源能够顺利产出。

2 影响钻井液选择的因素

2.1 地质条件

(1) 地层岩性。不同的地层岩性对钻井液性能要求差异巨大。如在泥页岩地层,由于页岩易水化膨胀、分散,钻井液应具备良好的抑制性,防止页岩水化造成井壁不稳定,可选用含有钾盐、胺基抑制剂等成分的钻井液;在砂岩地层,要考虑砂岩的孔隙度、渗透率,钻井液需有适当的封堵性能,防止钻井液固相颗粒侵入地层,常使用添加有桥堵剂的钻井液体系。(2) 地层压力。地层压力是决定钻井液密度的关键因素。当钻井液密度过低,无法平衡地层压力时,容易引发井喷事故;而密度过高,又会对油气层造成过大压力,导致油气层

损害,同时增加钻井成本。因此,准确预测地层压力,根据压力梯度合理调配钻井液密度至关重要。在高压地层,需选用高密度钻井液,通过添加加重剂如重晶石来提高密度;在低压地层,则要降低钻井液密度,采用轻质材料或适当稀释的方法^[2]。

2.2 钻井工艺

钻井工艺作为石油勘探与开发的核心环节,其效率与安全性直接关系到石油资源的开采成本与环境保护水平。针对不同钻井类型与钻井速度的需求,钻井工艺的优化显得尤为重要。(1) 钻井类型的精细化处理:直井、斜井、水平井等不同类型的钻井作业,对钻井液的性能提出了不同的要求。直井作业中,井壁的稳定性和岩屑的有效携带是首要考虑的因素。传统的钻井液体系,如膨润土钻井液或聚合物钻井液,通常能满足直井的基本需求,但在实际操作中,还需根据地层特性进行微调,如添加适量的抑制剂以防止井壁坍塌,或调整钻井液的粘度以提高携岩能力。斜井和水平井则因其复杂的井眼轨迹和钻具与井壁间较大的接触面积,对钻井液的润滑性能提出了更高要求。除了常规钻井液中添加的润滑剂,如石墨、油类润滑剂等,近年来,纳米材料润滑剂因其优异的润滑性能和稳定性,逐渐成为斜井和水平井钻井液中的新宠。此外,钻井液体系的流变性和滤失性也需要进行精细调控,以确保钻具在复杂井眼中的顺利运行,同时减少因摩阻和扭矩过大而导致的钻具损坏和井眼失稳。(2) 钻井速度的动态调整与钻井液性能优化:钻井速度的快慢直接影响到岩屑的产生量和钻井液的携岩能力。当钻井速度较快时,岩屑产生量急剧增加,此时,除了提高钻井液的排量外,还可以通过调整钻井液的流变参数,如增加粘度、切力或使用紊流顶替方式,来增强钻井液的携岩能力,确保岩屑能够及时被带出井眼,避免井眼堵塞和钻具磨损。

2.3 环保要求

随着全球环保意识的觉醒,石油钻井工程面临着前所未有的环保挑战。钻井液的环保处理与排放已成为石油行业必须面对的重要课题。(1) 钻井液的环保处理:传统的油基钻井液因其含有大量矿物油,生物降解性差,处理难度大,易对地表水、土壤和大气造成污染。因此,在环境敏感地区,油基钻井液的使用受到严格限制。相比之下,水基钻井液和合成基钻井液因其良好的生物降解性和较低的环境影响,成为优先选用的钻井液类型。在实际操作中,除了选择环保型钻井液外,还需严格控制钻井液的配方和添加剂的使用,尽量选用无毒、无污染的添加剂,减少钻井液对环境的潜在危害。

同时,加强钻井液循环使用系统的建设和管理,提高钻井液的循环利用率,减少钻井液的排放量和处理成本。

(2) 钻井液排放的合规性:钻井液的排放必须符合国家及地方的环保法规,确保不对环境造成污染。在排放前,应对钻井液进行严格的净化处理,去除其中的有害物质和固体颗粒,使其达到排放标准。此外,还需建立完善的排放监测体系,定期对排放物进行检测和分析,确保排放物符合环保要求。同时,加强与环保部门的沟通和协作,共同推动石油钻井工程的绿色发展^[3]。

3 常见钻井液类型及特点

3.1 水基钻井液

(1) 分散型水基钻井液。这是最传统的水基钻井液类型,以水为连续相,添加膨润土、纯碱等分散剂使粘土颗粒分散于水中,形成具有一定粘度和切力的钻井液。其优点是成本较低,原材料来源广泛,配制简单;缺点是固相含量相对较高,易造成地层损害,且抗污染能力较弱,在遇到盐侵、钙侵等情况时,性能容易恶化。常用于地层条件相对简单、对油气层损害要求不高的钻井工程初期阶段。(2) 抑制性水基钻井液。针对分散型水基钻井液的不足,抑制性水基钻井液应运而生。它通过添加钾盐、铵盐、有机抑制剂等成分,增强对泥页岩地层的抑制能力,减少页岩水化。具有较好的井壁稳定性能,能有效保护油气层,适用于页岩含量较高的地层。但其成本相对较高,维护难度较大,需要定期检测并调整抑制剂浓度,确保抑制效果。

3.2 油基钻井液

油基钻井液以矿物油或柴油为连续相,将有机土、乳化剂等添加剂溶于其中,形成稳定的乳液体系。其优点十分突出,具有极强的抑制性,几乎能完全抑制页岩水化,对井壁稳定效果极佳;润滑性好,能显著降低摩阻与扭矩,特别适用于大位移井、水平井等高难度钻井工程;抗高温性能强,可在高温地层保持稳定性能。然而,其缺点也不容忽视,成本高昂,是水基钻井液的数倍;对环境污染大,后续处理复杂;可燃,存在一定安全隐患,在使用和储存过程中需采取严格的防火措施。

3.3 合成基钻井液

合成基钻井液是近年来发展起来的新型钻井液,以合成有机化合物(如酯类、醚类等)为基础油,兼具油基钻井液和水基钻井液的部分优点。它的抑制性接近油基钻井液,能有效保护井壁,防止页岩水化;环保性能优良,生物降解性高,排放后对环境影响小;润滑性较好,可满足复杂钻井工艺需求。虽然成本仍高于水基钻井液,但低于油基钻井,但合成基钻井液的配制工艺复

杂,对技术要求较高,添加剂的选择与配伍也需要精细调控。

4 钻井液的合理使用与现场维护

4.1 钻井液的配制

(1) 严格按照配方操作。根据选定的钻井液类型及设计配方,准确称取各种原材料,包括水、膨润土、加重剂、添加剂等,确保配比准确无误。任何成分的偏差都可能导致钻井液性能不符合要求,影响钻井作业。在配制过程中,要遵循特定的添加顺序,一般先加入膨润土进行水化,再依次加入其他添加剂,充分搅拌均匀,使各成分充分发挥作用。(2) 充分搅拌与水化。搅拌是钻井液配制的关键环节,足够的搅拌时间和强度能保证各成分均匀分散,形成稳定的体系。对于膨润土等需要水化的成分,要给予充分时间,使其充分吸水膨胀,达到预期的粘度和胶体性能。一般情况下,膨润土水化时间不少于6小时,期间要持续搅拌,防止沉淀结块。

4.2 钻井液在钻井过程中的使用

(1) 控制钻井液排量。钻井液排量应根据井眼直径、钻井速度、岩屑产生量等因素综合确定。排量过小,岩屑携带不充分,易造成卡钻;排量过大,会增加泵压,对钻井设备造成不必要的压力,同时可能冲蚀井壁。在正常钻井情况下,排量应保证岩屑上返速度不低于[X]米/秒,具体数值可通过理论计算结合现场经验进行调整。(2) 实时监测与调整性能。在钻井过程中,要利用在线监测仪器(如流变仪、密度计、滤失仪等)实时监测钻井液的各项性能指标,包括粘度、切力、密度、滤失量等。一旦发现性能偏离设计要求,应及时分析原因并采取相应调整措施。如粘度降低,可能是固相含量减少或稀释剂添加过多,可适当添加增粘剂;密度变化可能与地层流体侵入或加重剂沉淀有关,需针对性处理^[4]。

4.3 钻井液的现场维护

(1) 定期补充与净化。随着钻井作业的持续进行,钻井液会因蒸发、漏失、固相沉淀等原因导致体积减

少、性能下降。需要定期补充新配制的钻井液,保持总量稳定;同时,采用固控设备(如振动筛、除砂器、除泥器、离心机等)对钻井液进行净化,去除岩屑、砂粒等固相杂质,降低固相含量,维持钻井液良好性能。一般要求振动筛的筛网目数根据岩屑颗粒大小合理选择,确保有效筛除岩屑,除砂器、除泥器等要定时开启,离心机用于精细处理,去除微小固相颗粒。(2) 处理污染与故障。当钻井液受到地层流体(如盐水、硫化氢等)污染时,要迅速采取措施。对于盐侵,可添加抗盐剂、提高钻井液密度进行抵抗;遇到硫化氢污染,要立即加入除硫剂,防止硫化氢腐蚀设备、危害人员安全,同时调整钻井液性能,确保其稳定性。若出现钻井液起泡、絮凝等故障,要分析是添加剂配伍不当还是受到外界因素影响,通过添加消泡剂、调整配方等方法解决问题。

结论:在石油钻井施工中,钻井液的选择与使用是一项复杂而精细的系统工程。正确认识钻井液的多重功能,综合考虑地质条件、钻井工艺、环保要求等诸多影响因素,精准选择合适的钻井液类型,并在钻井全过程中科学合理地使用与精心维护,是保障石油钻井工程安全、高效、环保进行的关键。随着石油工业的不断发展以及环保标准的日益提高,钻井液技术也将持续创新,未来有望开发出性能更优、成本更低、环保性更强的钻井液体系,为石油资源的高效开发奠定坚实基础。

参考文献

- [1]张辉,李阳.基于地层特性的钻井液精细选择策略[J].石油钻探技术,2024,52(3):65-69.
- [2]王强,赵雪.水平井钻井施工中钻井液润滑性能提升研究[J].钻井液与完井液,2024,41(2):15-19.
- [3]刘浩,孙静.环保型钻井液在海洋石油钻井中的应用实践[J].海洋石油,2024,44(1):78-82.
- [4]马华,陈晨.复杂地质条件下钻井液稳定性调控方法[J].地质科技情报,2024,43(3):101-105.