

油田钻井液中黏土矿物的作用及实践经济成果

奉庆莹 (中石化西南石油工程公司钻井工程研究院, 四川 德阳 618000)

摘要: 油气资源勘探开发离不开钻井液, 钻井液是确保钻井工程安全顺利施工作业的关键因素, 其性能的优劣直接影响钻井效率和成本。钻井液中的黏土矿物作为关键组分, 对其流变性能、滤失性能和稳定性等指标具有决定性影响。本文重点论述了膨润土、伊利石和高岭土三种常见黏土矿物在钻井液中的作用机理, 分析了它们对钻井液流变性、滤失性和稳定性等关键性能的影响规律。本文以新疆塔河油田修井作业为例, 具体阐述了黏土矿物优化在解决复杂钻井作业中的实际应用, 通过合理选择和控制在钻井液中黏土矿物的种类及用量, 有助于提升钻井液各项性能, 确保钻井作业顺利高效, 同时还能为企业创造显著的经济效益。

关键词: 油气资源; 油气井; 钻井液; 黏土矿物; 流变性能; 滤液性能; 稳定性; 经济效益

1 绪论

1.1 选题背景及意义

钻井液在油气井钻进过程中的主要功能是携带和悬浮岩屑、稳定井壁和平衡地层压力、冷却和润滑钻头钻具及传递水动力等。黏土矿物作为钻井液中的主要成分, 其种类、用量和分散状态将显著影响钻井液的性能指标。因此, 深入研究钻井液中黏土矿物的作用机理及其对钻井液性能的影响, 对于优化钻井液配方、提高钻井效率、降低钻井成本意义重大。本文将重点介绍钻井液中常见的三种黏土矿物: 膨润土、伊利石和高岭土。分析它们在钻井液中发挥的主要作用, 以及对钻井液流变性能、滤液性能和稳定性等关键指标的影响。同时, 结合工程实践, 评估合理选择和控制在钻井液中的黏土矿物对整个钻井工程的经济效益。

1.2 研究目的

主要研究目的是: ①全面系统地阐述钻井液中黏土矿物的作用及其对钻井液性能的影响规律; ②为优化钻井液配方, 提高钻井液性能提供理论指导; ③为提高钻井工程效率、降低钻井成本提供技术支撑; ④结合工程实践, 评估合理选择和控制在钻井液中的黏土矿物含量对整个钻井工程的经济效益。

2 钻井液中黏土矿物的种类及作用

2.1 黏土矿物概述

2.1.1 黏土矿物的种类

黏土矿物是一类层状硅酸盐矿物, 主要包括伊利石、绿泥石、海泡石、高岭土和蒙脱石等。它们的晶体结构由一个硅氧四面体层和一个铝氧(铝羟)八面体层组成, 通过共价键或离子键连接形成层状结构。

2.1.2 黏土矿物的结构与性质

黏土矿物具有较大的比表面积和阳离子交换能

力。当与水接触时, 由于其润湿亲水性它们能快速吸附大量水分子在层间, 使层状结构发生水化膨胀, 从而表现出良好的黏聚性、离子交换能力和胶体性质。这些特性使其对钻井液携带钻屑、清洁井眼、润滑钻具、稳定井壁等发挥重要作用。

2.2 钻井液中常见黏土矿物

2.2.1 膨润土

膨润土以蒙脱石为主要矿物成分, 蒙脱石是一种 2:1 型层状硅酸盐矿物, 其晶体结构由两个硅氧四面体层夹一个铝氧八面体层组成。由于其层间存在可交换的阳离子(主要是 Na⁺、Mg²⁺、K⁺ 等), 使层间距较大, 能大量吸附水分子而发生剧烈膨胀。

2.2.2 伊利石

伊利石又称水白云母, 是一种类似云母的非膨润性黏土矿物。伊利石晶体结构属于单斜晶系的 2:1 型层状硅酸盐, 晶体结构层间无可交换阳离子, 层间距较小且不易吸附水分子发生膨胀。具有较好的热稳定性和化学稳定性。

2.2.3 高岭土

高岭土以高岭石为主要矿物成分, 高岭石是一种 1:1 型层状硅酸盐矿物, 其晶体结构由一个硅氧四面体层和一个铝氧八面体层通过氢键连接而成。高岭土结构简单、热稳定性好, 但离子交换能力差, 不易水化膨胀。

2.3 黏土矿物在钻井液中的作用

2.3.1 赋予钻井液黏度和携砂能力

黏土矿物能与水发生水化作用膨胀形成黏性胶体, 赋予钻井液一定的黏度和塑性, 提高钻井液的携岩带砂能力, 有利于井筒环空钻屑的高效排出。在上述三种黏土矿物中, 膨润土是钻井液最主要的赋黏剂。

2.3.2 提供钻井液密度

黏土矿物本身密度比水大，在一定程度上能够提高钻井液的密度，从而产生足够的井壁压力防止井漏。在钻井工程中，通常采用重质碳酸钙和重晶石等增重剂来调节钻井液密度。

2.3.3 滤失量控制

黏土矿物在钻井液中发生水化膨胀后，可在井壁上形成低渗透性覆盖滤饼，避免钻井液与地层的直接接触，进而有效控制钻井液的滤失量，防止钻井液漏失和地层污染。

3 黏土矿物对钻井液性能的影响

3.1 黏土矿物对钻井液流变性能的影响

流变性是衡量钻井液流动特性的关键指标，直接影响其在钻井循环系统中的输送效率。塑性黏度反映了钻井液在低切力切线状态下流动时所受到的内部分子阻力。通常情况下，膨润土和绿泥石等膨胀性黏土矿物含量越高，钻井液的塑性黏度越高，但过高的塑性黏度将导致钻井液携砂能力下降、循环阻力增大，循环压耗增加。因此需合理控制这些膨胀性黏土的用量。

动切力是钻井液从静止到流动所需的初始力大小，与黏土矿物的种类和分散程度密切相关。富含膨润土的钻井液由于其良好的水化膨胀能力，能产生较高的动切力，有利于在静止状态下形成较强的凝聚结构，从而提高钻屑的悬浮和携带能力。

静切力是钻井液在静止状态下形成足够强度的凝聚结构所需的最小力，与动切力有类似的意义。膨润土的加入能显著提高钻井液的静切力，适当的动切力有助于防止钻屑颗粒在静止时快速离析沉降，维持钻井液良好的悬浮性能。但静切力过高则会严重影响钻井液的流动性，导致循环阻力增大，容易造成钻井施工憋泵。

总的来说，适当的膨润土及其他膨胀性黏土矿物能赋予钻井液较佳的流变性，使其能携岩带砂、稳定井壁，但用量过多则会产生不利影响。在钻井液配方设计时需要合理调控黏土矿物含量，使其流变性指标达到适宜的平衡。

3.2 黏土矿物对钻井液滤失性能的影响

3.2.1 滤失量

钻井过程中，部分钻井液不可避免地渗入到岩石地层中，此即为钻井液的滤失量。过高的滤失量不仅导致钻井液性能发生变化，出现多种复杂情况还会污染地层，控制钻井液滤失量是维持钻井液性能稳定的关键指标。在钻井液中加入黏土矿物后，钻井液与地

层界面处逐渐形成致密的滤饼，极大地降低了钻井液的滤失量。膨润土由于良好的水化膨胀性，能形成薄韧且密实的滤饼，从而发挥最佳的降滤失效果。伊利石虽不膨胀但也能形成较好的滤饼，相比之下，高岭土的降滤效果最差。

3.2.2 滤饼厚度

滤饼的厚度越薄，其致密性和阻隔效能就越好。同时，滤渣还需要具备一定的韧性和抗冲刷能力，以防被钻井液高速冲刷而破坏。膨润土形成的滤饼最薄，但韧性不足，单独使用时易被破坏；伊利石形成的滤饼较厚，但其具有良好的耐温和抗盐性能，使其滤饼具备优异的稳定性。因此，通常需要适当配伍膨润土和伊利石，以发挥两者的优势互补，获得薄而致密且具备抗冲刷能力的理想滤饼。

3.3 黏土矿物对钻井液稳定性的影响

稳定的钻井液性能对于确保钻井安全至关重要，以下分析了黏土矿物对钻井液抗高温性和抗钙离子污染的影响。

3.3.1 抗高温性

钻井液在高温高压的井下环境中极易发生老化，导致流变性能和降滤失性能显著下降。膨润土的结构相对不稳定，其吸水能力和离子交换能力易导致钻井液吸收地层盐水造成结晶，而引起钻井液性能恶化。而伊利石和高岭土由于晶体结构紧密、化学性质稳定，能较好地抵御高温老化。因此，适度添加伊利石和高岭土等非膨胀性黏土矿物，有利于提高钻井液在高温下的抗高温稳定性。

3.3.2 抗钙离子污染

钻井液在钻遇钙盐岩层时，极易被钙离子污染而发生絮凝，导致钻井液粘切增加、滤失量变大。不同黏土矿物对钙离子污染的抵御能力有显著差异，伊利石晶体结构紧密、无可交换离子，具有最强的抗钙离子污染能力；高岭土次之；而膨润土由于层间存在大量可交换钠离子，最易被钙离子置换，破坏其黏土矿物结构，稳定性最差。因此，在钻遇钙盐岩层时，应适当提高伊利石和高岭土的用量，降低膨润土含量，以提高钻井液对抗钙离子污染能力。同时，也可添加专门的钙离子稳定剂来进一步增强钻井液的稳定性。

4 案例分析

4.1 钻井作业概况

新疆塔河油田区位于准噶尔盆地北缘，属于深层海相碳酸盐岩储层，具有高温高压、高钙离子污染及钻屑沉降严重等钻井困难。某钻井工程在进行XYZ井

深井修井作业时,原有钻井液配方无法满足要求,出现严重渗漏、井眼缩径和钻屑沉降等问题,给钻井施工作业带来诸多困扰。经专家论证分析,钻井液中黏土矿物的选择和用量控制是关键所在,需进行系统优化。

4.2 钻井液黏土矿物优化

针对该区域的高温高压及高钙离子污染特点,钻井液中黏土矿物优化配比如下:①适度提高伊利石和高岭土用量(20%左右),以提高钻井液的抗温性能和抗钙离子污染性能;②合理控制膨润土用量(10%左右),在保证钻井液具有一定的悬浮能力和较高的动切力,避免过量使用导致高塑性黏度、高滤失量等不利影响;③钻井液中伊利石和膨润土的比例控制在2:1左右,使二者优势互补,形成理想的滤饼。

同时,还需根据钻井阶段对黏土矿物配比进行适当调整。在常规钻井及防塌作业中,可适当增加膨润土用量以获得良好的携砂能力;进入水平段时,则需降低膨润土含量,以减小管柱拖力和钻具扭矩阻力。

4.3 钻井液性能优化效果

经过系统优化,钻井液各项性能指标均有显著改善:①塑性黏度和静切力降至适宜水平,流动性能良好;②滤失量和滤饼厚度控制在合理范围,渗漏失和井眼缩径问题得到有效解决;③抗高温和抗钙离子污染能力大幅提升,钻井液性能保持稳定;④整体悬浮和携砂能力持续改善,钻屑沉降情况显著减轻。

经过约2个月的钻井作业周期,钻井液性能始终保持在理想状态。不仅极大地提高了钻井效率,而且显著节省了钻井液消耗,降低了作业成本,为企业创造了可观的经济效益。该案例充分说明,合理优化钻井液黏土矿物的种类选择和用量控制,对于解决复杂钻井作业难题、确保钻井安全高效运行具有重要价值。同时也为我国其它油田钻采作业提供了宝贵的技术借鉴。

5 工程实践与经济效益分析

5.1 钻井液中黏土矿物对钻井工程的影响

在实际钻井过程中,钻井液配方的设计是一项系统工程,需要根据具体地层条件、钻井参数等因素合理选择和控制黏土矿物的用量和种类。例如在钻遇含有活性黏土矿物和钻井液相容性差的地层时,可适当增加耐盐性较好的伊利石来提高钻井液的抗污染能力;遇到高温高压地层时,则需提高热稳定性好的伊利石和高岭土的用量。同时根据钻井阶段的不同,黏土矿物的配比也应作出调整。在常规钻井阶段,适当提高膨润土的含量可获得良好的携砂能力,进入水平

段时,则需降低膨润土用量以减小管柱拖力。综合分析,合理选择和控制黏土矿物种类及用量,能够有效优化钻井液各项性能指标,确保钻井安全高效顺利。

5.2 经济效益分析

选择合理的黏土矿物配方并严格控制其用量,不仅能满足钻井液性能要求,更能产生显著的经济效益:

①减少钻井周期,降低钻井成本。优化的钻井液性能可提高钻井渗透率和机械钻速,减少循环周期、减轻复杂地层引起的钻井困难,从而缩短钻井工期,降低钻井成本支出。②延长钻井液循环使用周期。合理的黏土矿物配方可延长钻井液的使用寿命,减少补充和更换钻井液的频率,从而节约钻井液材料成本。③减少井下复杂情况发生。良好的钻井液性能有利于降低憋泵、缩径、卡钻等复杂情况的发生概率,从而避免后期的大修、钻井液治理等高额成本支出。④减少对地层的污染和损害。优化滤液性能可减小钻井液对地层的污染和损害,降低日后的钻完井修复成本,其应用表现出显著的环境效益。由上可见,通过深入研究和合理选择钻井液中的黏土矿物组分,并予以严格控制,不仅能满足钻井工程对钻井液性能的要求,更能为企业创造可观的经济效益。

6 结论与展望

本文对钻井液中常见的三种黏土矿物膨润土、伊利石和高岭土进行深入分析。阐述它们在钻井液中发挥的主要作用,即赋予钻井液黏度、塑性和携砂能力、提供必要的液体密度、控制滤失量等。并重点评估了这些黏土矿物对钻井液流变性、滤液性和稳定性等关键指标的影响。研究表明,合理选择和控制钻井液中的黏土矿物种类及用量,对于优化钻井液各项性能指标,确保钻井工程安全高效顺利运行具有重要意义。同时,这种优化措施还能为企业创造显著的经济效益,降低钻井成本、减少钻井液材料损耗和钻井期间的复杂情况发生几率。未来,随着钻井工程向更深、更复杂的地质条件延伸,对钻井液的性能要求将更加苛刻。因此,需要持续深入研究黏土矿物在钻井液中的作用机理,探索新型黏土材料的应用,开发新的钻井液体系,以应对更加严峻的钻井环境挑战。

参考文献:

- [1]Murray H H. Traditional and new applications for kaolin, smectite, and palygorskite: a general overview[J]. Applied Clay Science, 2000, 17(5-6): 207-221.
- [2]戴金星. 钻井液黏土矿物及其在钻井液中的作用[J]. 石油钻采工艺, 2006, 28(5): 40-43.