

# 低渗透气藏天然气钻井提速提效关键技术研究

张强 张宁 王春梅

陕西延长石油(集团)有限责任公司气田公司 陕西 延安 716000

**摘要:** 低渗透气藏天然气开发面临诸多挑战, 钻井提速提效成为提升开发效益的关键。本文深入探讨了低渗透气藏天然气钻井提速提效的关键技术, 从地质条件分析、钻井技术优化、钻井液体系选择、钻头钻具选型以及储层保护等多个方面展开研究。通过理论分析与实践案例相结合, 论证了各项关键技术 in 提升钻井速度、保障钻井安全、保护储层等方面的有效性和可行性, 为低渗透气藏天然气的高效开发提供了有力支持。

**关键词:** 低渗透气藏; 天然气钻井; 提速提效; 钻井技术; 储层保护

## 引言

随着全球能源需求的不断增长, 天然气作为一种清洁、高效的能源, 其开发利用受到广泛关注。低渗透气藏作为天然气资源的重要组成部分, 具有巨大的开发潜力。然而, 低渗透气藏的地质条件复杂, 储层渗透率低, 给钻井作业带来了诸多挑战。钻井速度慢、成本高、储层损害等问题严重制约了低渗透气藏天然气的高效开发。因此, 研究低渗透气藏天然气钻井提速提效关键技术, 对于提升开发效益、保障能源安全具有重要意义。

## 1 低渗透气藏地质条件分析

### 1.1 储层特征

低渗透气藏通常具有储层孔喉细小、渗透性差、非均质性严重等特点。储层中的黏土含量高, 容易发生水敏、水锁等损害。例如, 在一些低渗透凝析气藏中, 由于储层孔喉细小, 渗透率的损害机率较高, 水锁是其储层损害的主要因素之一。此外, 低渗透气藏还常伴有天然裂缝, 微裂缝在渗流方面起着主导地位, 一旦受到损害, 会严重影响气藏的产量, 且恢复起来比渗透率高的储层更加困难。

### 1.2 地层压力与温度

低渗透气藏的地层压力往往较低, 但也可能存在异常高压气层。地层温度则随着井深的增加而升高, 这对钻井液的性能提出了更高的要求。例如, 在鄂尔多斯盆地的一些超低渗气藏中, 地层压力系数与孔隙压力相近, 部分层段存在低破裂压力层, 导致固井过程中动态压力难以控制, 固井质量不易保证。

### 1.3 地质构造与岩性

低渗透气藏的地质构造复杂, 可能存在断层、褶皱等构造形态。岩性方面, 储层岩石多为致密砂岩、泥岩等, 可钻性差, 研磨性强。例如, 鄂尔多斯盆地晚三叠统开发井气藏储层岩性致密, 物性差, 丰度低, 具有地层可钻性

差、漏失严重、地层研磨性强和钻具失效频繁等特性。

## 2 钻井提速提效关键技术

### 2.1 钻井技术优化

#### 2.1.1 螺杆增压钻井技术

螺杆增压钻井技术是缓解深井钻井增压难、钻压低问题的重要技术。通过合理应用螺杆钻具和柱塞泵的辅助作业, 在井下钻具最上部安装螺杆钻具, 实现增压器与转换接头有效联通, 确保钻井中井下钻具有稳定的压力供应。配套应用动力换向装置, 可为井下增压设备提供动力, 并根据钻井需要提供额外动作, 辅助柱塞泵完成比较复杂的井下动作<sup>[1]</sup>。该技术在硬度较大地层切割钻进中优势明显, 可借助井下增压器实现有效的压力控制。然而, 该技术对地层岩性有一定要求, 大硬度地层钻速快, 但钻遇软地层后反而会影响钻井速度。

#### 2.1.2 减震增压钻井技术

减震增压钻井技术主要通过钻头在井筒内横向和纵向震动的有效控制, 使钻头能获得非常大的动力, 使钻头喷嘴和钻井液内部获取较大压力, 而钻头纵向的震动幅度小于横向震动幅度, 可在获取高钻速的同时有效保护钻头。钻头在钻进中纵向震动会引起连接轴震动, 进而使柱塞产生一定的运动, 而外筒设备保持静止, 确保井下钻具在活动状态下不会产生负压问题。但该技术应用的难点在于钻头的纵向振动幅度很难控制, 不适合在水平井中应用。

#### 2.1.3 射流增压钻井技术

射流增压钻井技术能对井底流场进行改善、加强井筒清洗、增强水力辅助破岩效果。其原理是借助速度较快的射流营造井底瞬时欠平衡状态, 通过减小压持效应提升破岩效果, 还能有效清除井底岩屑。例如, 应用较多的氯化钾聚合物轻泥浆体系, 与深层岩石相遇后会有效封堵岩层裂缝, 降低自由水进入岩层概率, 提升钻井

液的封堵性和抑制性,可通过低密度钻井液的应用达到提升钻速、减小压持的目的。

#### 2.1.4 复合钻井技术

复合钻井技术是通过转盘与井下动力钻具的共同驱动,实现钻井提速的目的。技术应用基础是优选钻头,根据地层合理选择是应用牙轮钻头还是PDC钻头,在选择钻具的基础上,可以根据地层特性,通过多种钻具的优化组合达到钻井提速的效果。比如,高温直螺杆和PDC钻头组合复合钻井技术,可适应井下120℃以上的高温环境,在常规复合钻具基础上延长螺杆的使用时间;涡轮钻具和金刚石钻头复合钻井技术,可借助钻井液对涡轮叶片进行驱动,带动钻头实现高速转动,达到破岩的目的,在排量达到一定程度后,输出的扭矩和转速可以相互转化,具体可根据岩层实际选择涡轮钻具的速度,分为高转速和低转速涡轮钻具;旋冲工具复合钻井技术,主要是增加了液力锤和马达总成,可实现冲击破岩和旋转破岩相结合的作业效果,钻进中会使岩层受到高频次的冲击,钻头与岩石接触部位的应力较为集中,岩层内部还会因外部震荡而在内部产生被迫震荡,使岩层产生疲劳破坏,加大了岩层的脆性破碎<sup>[2]</sup>。同时,在连续不断冲击下,井底岩层表面会形成一系列的裂缝,能获取更好地旋转剪切破岩效果,但要注意该技术在塑性地层中不太适用。

### 2.2 钻井液体系选择

#### 2.2.1 超低渗透钻井液

超低渗透钻井液封闭膜具压缩性,压力越大,封闭膜越致密,封闭效果越好;超低渗透钻井液封堵膜具有较高承压能力,能够提高地层破裂压力梯度,从而实现防塌和防漏。这对于低渗透气藏钻井过程中防止钻井液侵入储层、保护储层具有重要意义。

#### 2.2.2 强抑制性钻井液

甲基葡萄糖甙(MEG)钻井液就是一种强抑制性钻井液,如果在钻井液中加入足量的MEG,则在井壁上形成一层类似油包水泥浆的吸附膜,这个膜可以把岩石中的水和钻井液中的水隔开,使钻井液具有较强的抑制性和润滑性。这对于减少钻井液对储层的损害、提高钻井效率具有重要作用。

#### 2.2.3 屏蔽暂堵型钻井液

屏蔽暂堵技术就是在进入油层前20~50m有意识地在钻井完井液中加入根据孔喉尺寸大小、裂缝尺寸分布选择多级配的架桥粒子、充填粒子和可变形粒子。在压差作用下,瞬间在距井壁很短的距离内形成一层薄而不透水的、渗透率极低屏蔽防透环带,从而有效地阻止了钻

井完井液中的固相和滤液侵入储层造成各种损害。这种钻井液体系在低渗透气藏钻井中具有广泛的应用前景。

### 2.3 钻头钻具选型

#### 2.3.1 钻头类型选择

不同类型的钻头破岩效率不同,破岩的方式也不同。牙轮钻头是通过牙齿对地层岩石的冲击作用力来破碎岩石的,而金刚石钻头和刮刀钻头是通过岩石的剪切作用来破碎岩石的。在低渗透气藏钻井中,应根据地层岩性、可钻性等因素合理选择钻头类型。例如,在鄂尔多斯盆地的一些低渗透气藏钻井中,根据地层岩性特点,对该地区地层的软硬程度进行划分,三叠系、石炭系和奥陶系整体属于中硬地层,二叠系属于软到中硬地层,然后结合钻头适应性选择合适的钻头类型。

#### 2.3.2 钻具组合优化

钻具组合的优化对于提高钻井效率、保障钻井安全具有重要意义。例如,在水平井钻井中,直井段一开采用塔式钻具组合,二开采用钟摆钻具组合<sup>[3]</sup>。同时,还可以根据钻井过程中的实际情况,对钻具组合进行调整和优化,以提高钻井效率。

### 2.4 储层保护技术

#### 2.4.1 合理控制钻井液密度和性能

在钻井过程中,应合理控制钻井液的密度和性能,以减少对储层的损害。例如,通过优化钻井液密度和性能,配合工程施工措施、清砂工具和钻井参数的强化,可以形成适合低渗透气藏的安全钻进施工配套工艺。

#### 2.4.2 使用与地层矿化度匹配的钻井液

为了防止地层中黏土膨胀分散,并使滤入地层的净滤液性质能与地层性质配伍,钻井液和完井液要有相应的矿化度,可以加入一种或几种盐混合而成。水基钻井液不含固相,不会出现外来固相堵塞地层孔道,而且液体中的无机盐类改变体系中的离子环境,降低了离子的活性,减少水化黏土吸附水的能力,即使盐类侵入地层,地层中的黏土颗粒仍能保持稳定,不易发生运移。国外常用的盐类水基钻井液有氯化钾、氯化钠、氯化钙/溴化钙、氯化钙/溴化钙/溴化锌盐水液等。

#### 2.4.3 选择无损害钻井液的添加剂

钻井液和完井液中使用的各种添加剂,其最终目的是改善钻井液的性能,达到控制地层漏失、改变流变度、提高钻井效益的目的。在使用添加剂时,主要针对地层黏土类型、与地层的适应性和各种处理液之间的配伍性。为防止对地层的伤害,要避免使用碱溶性的添加剂,提倡使用酸溶性的添加剂。因为在一般气井中,都要进行酸化处理,能溶于酸就能排出,固相物质也要使

用酸溶或油溶性的，不使用重晶石来加重钻井液。国外为防止液体侵入产层使黏土膨胀、分散、运移，常使用的黏土稳定剂有无机盐类、无机聚合物、表面活性剂和有机聚合物等。铁离子稳定剂有pH控制剂、还原剂等。

#### 2.4.4 完井液加入颗粒合适的固相桥接剂

完井液中加入颗粒大小合适的桥接剂粒子，以减少完井液的瞬时失水，控制完井液固相颗粒进入地层。用作桥接剂的材料一般有三种：酸溶性的、水溶性的和油溶性的。在完井液中选用的桥接剂，可根据三分之一的桥堵机理暂堵在井壁周围的地层孔隙入口处，并迅速形成坚固的致密泥饼，起阻挡作用，控制外来固相和滤液进一步侵入产层，从而起到防止黏土水化膨胀和分散运移的作用。

#### 2.4.5 射孔完井技术

对于以射孔方式完井的低渗透气藏，较为有效的射孔技术主要有深穿透大负压射孔和高压喷流射孔。它们的主要作用是射穿地层污染带，在井筒与地层之间建立起无阻泄流通道，更有效地解放气层。这两项技术均具有成本低、危险小和作业简单等特点，特别在一些低渗透致密气藏改造中，由于其他增产效果不佳，射孔的优势会得到充分体现，增产改造效果较为明显<sup>[4]</sup>。如美国、加拿大和我国四川、大庆的实践证明，用此方法其单井产量可增加1~3倍左右。

### 3 案例分析：鄂尔多斯盆地超低渗气藏钻井技术难点与对策

#### 3.1 项目背景

鄂尔多斯盆地超低渗气藏具有岩性致密、渗流阻力大、压力传导能力差等特点，钻井过程中存在诸多技术难点。为了提高钻井效率、保障钻井安全，结合储层地质特征，提出了针对性的技术对策。

#### 3.2 技术难点分析

第一：地层时代古老，钻遇多套地层，地质情况复杂。

第二：可钻性较差，研磨性强，不同地层岩石可钻性差异较大。

第三：非均质性强，含有砾岩地层、煤系地层等。

第四：地层破裂压力与孔隙压力相近，固井质量不易保证。

第五：地层易受伤害，钻井过程中极易伤害地层。

第六：钻具失效频繁，影响钻井效率。

第七：钻井事故风险高，如井斜、井漏、掉块、井塌等。

#### 3.3 技术对策

第一：针对地层时代古老、地质情况复杂的问题，加强地质勘探和预测，制定合理的钻井方案。

第二：针对可钻性较差、研磨性强的问题，选择合适的钻头钻具组合，优化钻井参数，提高破岩效率。

第三：针对非均质性强的问题，采用多级配的钻井液体系，提高钻井液的封堵性和抑制性。

第四：针对地层破裂压力与孔隙压力相近的问题，合理控制钻井液密度和性能，确保固井质量。

第五：针对地层易受伤害的问题，采用储层保护技术，减少钻井液对储层的损害。

第六：针对钻具失效频繁的问题，加强钻具管理和维护，提高钻具的可靠性和使用寿命。

第七：针对钻井事故风险高的问题，加强钻井过程中的安全管理和监控，及时发现和处理钻井事故隐患。

#### 3.4 实施效果

通过实施上述技术对策，鄂尔多斯盆地超低渗气藏的钻井效率得到了显著提高，钻井事故得到了有效控制，储层损害问题得到了有效缓解。同时，钻具失效问题也得到了有效解决，为气藏的高效开发提供了有力保障。

#### 结语

本文通过对低渗透气藏天然气钻井提速提效关键技术的研究，得出以下结论：低渗透气藏地质条件复杂，储层渗透率低、非均质性严重等特点给钻井作业带来了诸多挑战。钻井技术优化、钻井液体系选择、钻头钻具选型以及储层保护技术等是提升低渗透气藏天然气钻井提速提效的关键。随着油气勘探和开发技术的不断进步，低渗透气藏天然气钻井提速提效关键技术将不断完善和发展。未来，可以进一步开展以下研究：深入研究低渗透气藏的地质特征和开发机理，为钻井提速提效提供更加科学的依据。探索新的钻井技术和方法，如旋转导向钻井技术、水力脉冲钻井技术等，以提高钻井效率和降低开发成本。加强钻井液体系和添加剂的研发，开发出更加环保、高效、经济的钻井液体系。

#### 参考文献

- [1]张磊.超低渗透钻井液防漏堵漏技术研究[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(05):172-174.
- [2]王雪松.非常规油气藏钻井过程中的流体动力学优化[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(03):153-155.
- [3]刘佳,黄向飞.钻井泥浆技术在低渗透储层开发中的应用探讨[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(03):177-179.
- [4]柏晓超,刘伟,崔翰林.超低渗透钻井液井壁稳定机理[J].化工管理,2022,(19):160-162.