

# 页岩油水平井钻井提速关键技术应用与经济效益

吴 楠（中石化华东油气分公司泰州采油厂，江苏 泰州 225300）

**摘要：**现阶段加大页岩油水平井钻井开发技术的研究和实践应用，对于推动页岩油开采效率，提升我国页岩油产量具有重要意义。为了解决页岩油水平井钻井难题，本文通过深入研究页岩油水平井钻井提速提效关键技术，对页岩油水平井技术方案的优化和现场实施应用，实现了页岩油水平井安全、高效钻进，为页岩油井开发提供了技术保障，促进油井开发取得了可观的经济效益。

**关键词：**页岩油水平井；钻井提速关键技术；经济效益

## 0 引言

目前，在能源开发领域中，页岩油水平井开采存在开发难度大，产量低，技术难点多的特点，这些难点严重制约了油井开采效率和产量的提升。为了突破页岩井单井产量限制，实现油田经济效益的提升，通过研究和应用页岩油水平井钻井提速关键技术，进一步优化提速技术方案，成功实现页岩油低成本、高效率钻井开发，大幅度提高原油的供应能力，为油田实现开发效益起到关键作用。

## 1 页岩油水平井开采技术难点

页岩油井开采受复杂地形地貌及地质条件影响较大，页岩油开发存在地质断层频繁，目的层埋藏较深，储油层分布不规律，多呈现裂隙狭窄发育规律，开窗难度大，轨迹控制困难，存在井控风险。在钻井过程中，时常伴随着井漏与坍塌风险，油气在水平段漏失较多，多层次影响下使得开采进程存在一定程度的阻碍，导致安全开采难度大、钻井效率低，这些技术难点需要选择适合的开发技术，通过技术创新和优化来解决，以提高页岩油开采的效率与安全性。

## 2 页岩油水平井钻井提速关键技术优势

为了有效解决页岩油水平井的钻井难题，实现钻井的提速提效，需要采取有针对性且行之有效的措施。页岩油水平井钻井提速关键技术应用，通过对页岩油水平井开采的整体优化设计，保证了井口位置选择、地面与空间布局优化、钻机施工质量等方面科学合理实施，降低了钻井难度，顺利实现单平台多层系开发。经过多年持续研究攻关，我国形成了系列配套油气钻井技术体系，基本满足了页岩油水平井开发的需要。页岩油水平井钻井提速关键技术相关研究路线见图1。

例如，在钻井过程中，构建高性能水基钻井液体系，实践证明可以有效降低储层泥页岩力学性能的弱化程度，稳定井壁，顺利下入套管，为非常规页岩油气低成本绿色开发提供了一种有效技术手段。有利于提升工程质量、保障施工安全与效率，也进一步推动了页岩油水平井钻井技术向更高层次发展。

为了提升适应复杂地层和环境的能力，满足油井开发增产、上产、降本、增效、低碳发展的需要，在

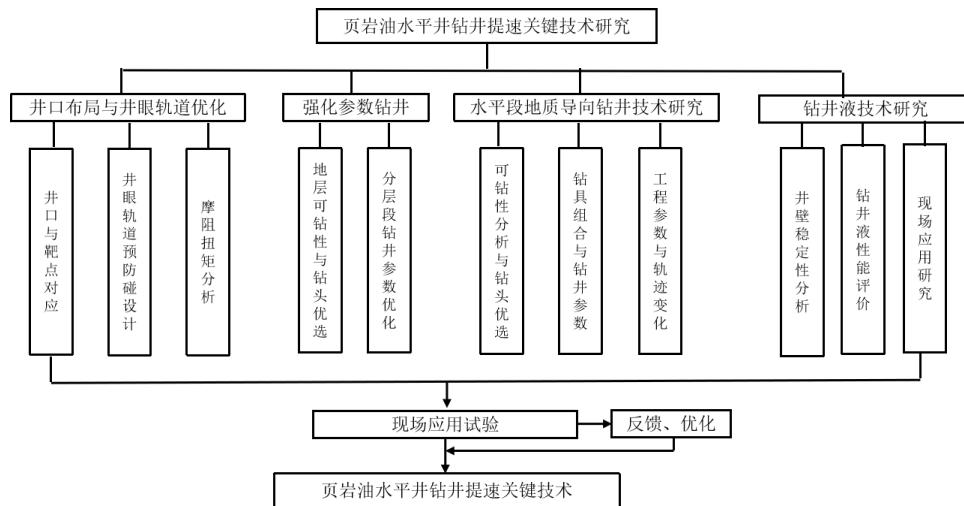


图 1 页岩油水平井钻井提速关键技术研究路线

信息技术、人工智能和新材料等高新技术的共同推动下，我国页岩油水平井钻井提速关键技术正在继续向着高性能、低成本、智能化、绿色环保等方向发展，并且已经达到了国际同类产品技术水平。

### 3 页岩油水平井钻井提速关键技术应用

通过前期对页岩油水平井钻井技术的特点与难点的分析，在深层次研究钻井工艺技术的基础上，总结出针对页岩油水平井钻井施工处理的核心关键技术，为准确研究奠定了理论基础，具体要点包括如下：

#### 3.1 井口布局与井眼轨道优化设计

为了实现钻井效率提速，最大化的动用储量层，需要根据水平井不同特点采取科学合理、多样化的布井方式，对井间地带的富集储层规律进行精细描述，并研究剩余油富集储层的精准分布规律，以利于实现间隙剩余油的有效开采。首先，通过精细地质勘察对钻井地质特点进行分析，结合地层特性，按照设计与效益兼顾的最优化原则，合理布局规划、开采设备选型、施工一体化设计与流程等方面，做好井口布局优化设计工作。第二，井眼轨道设计是水平井钻井技术中关键的一环，在设计过程中，以满足钻井工程的要求为前提，必须综合考虑到钻井多方面的具体条件，外观简洁、实用、高效。在充分考虑固井质量前提下，降低控制难度，减小摩擦阻力，井眼曲率轨迹变化数值偏小，提高井眼轨迹精度，采用平缓设计，便于施工，也有助于提高钻井效率。井口布局与井眼轨道的优化设计，具体优化措施，需要根据各水平井的实际情况进行详细分析因地制宜，充分发挥地层定向能力，科学布井，降低风险，提高效率。

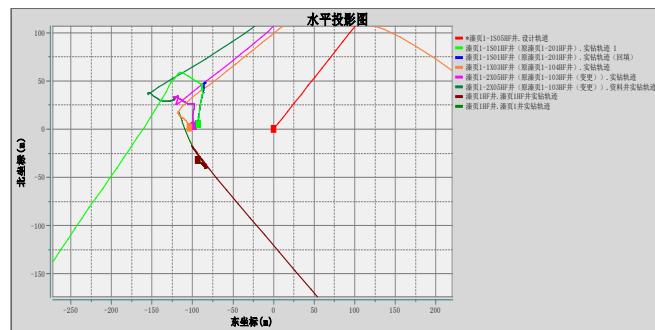


图 2 某钻井井眼轨道优化设计图

#### 3.2 地质工程一体化导向

总结前期研究成果，有学者认为：地球工程一体化的主旨就是围绕着“提高平均单井产能”这一个关键问题，以三维模型为核心、以地质—储层综合研究为基础，针对遇到的关键性挑战，在油气藏勘探开发

的不同阶段，开展具有前瞻性、针对性、预测性、指导性、实效性和时效性的动态研究和及时应用。通过有效的组织管理与实际作业实施，系统、有针对性、快速地积累和丰富与钻井、固井、压裂、试采、生产等多学科相关的知识和工程经验，并且不断的调整与优化关于钻井、压裂等方面的工程技术方案，在区块、平台和单井这三种尺度，分层次、动态地优化工程效率与开发效益，实现提产增效的中长期目标。

例如，某油井为了解决常规油基钻井液在钻井施工中面临的井壁失稳、环境污染等技术问题，在研究井壁失稳机理的基础上，提出了“外防水侵、内控膨胀”的井壁稳定控制方法，制定出“封堵为主+强化抑制+润湿反转+合理密度”相关技术措施，研发了可变形微纳米聚合物封堵剂、页岩润湿反转剂和原油乳化分散降黏剂等关键助剂，实施一体化能效提升和“大地面”优化工程，依靠技术进步，突破制约低成本勘探开发的瓶颈，释放更多井位，为国家能源安全提供更好保障。

#### 3.3 利用钻头螺杆一体化提速工具应用

针对页岩油水平井埋藏深，开窗难度大，轨迹控制困难等一系列技术难点，开展钻井工具产品个性化设计、钻头优化改进、钻具组合优化等现场施工工艺技术改进，利用钻头螺杆一体化提速工具应用，实现提速提效，具体措施简述如下：

第一，页岩油井对于钻具质量要求比较高，为了给钻头提供充足的辅助破岩力量，提高破岩效率，优选短齿冠、高攻击性 PDC 钻头，短径保护、短接头加强了侧向攻击力的径保护，确保了钻头的定向能力；采取浅内锥、短抛物线设计，工具面稳定。为了符合激进式钻井的需求，采用耐油、耐高温、大扭矩、耐用、使用寿命长的螺杆。

第二，优先选择高稳定性随钻测井（LWD），其具备自发电功能、耐高温、带近钻头井斜、持续性工作时间在 200 小时以上。通过一系列的工具仪器优选与现场合理安排施工，某油井实现单趟钻最高进尺为 3000m 以上，三开最高机械钻速达到 40m/h 以上。

第三，研发与推广随钻井壁修整工具，可以有效预防卡钻等事故复杂，保障钻头螺杆一体化安全实施。例如，某油井工具采用四螺旋扶正棱结构设计，螺旋面直径为 300mm，与井壁之间形成面接触，可以防止扶正棱对于井壁的冲击破坏，上下斜面设计螺旋面切削齿直径为 16mm，在正倒划眼时对井壁进行修整。

在二开钻具组合中加放该井壁修整工具，第1支放在距钻头600m左右，当达到完钻井深时，使第1支井壁修整工具位于嫩二段顶部；后面每隔200m加放1支井壁修整工具。

上述措施，有效解决了技套施工过程中在上部地层出现的缩径问题，避免了起钻阻卡、测固井前需要通井等问题，降低了复杂事故时率，切实保障了井下安全，实现了钻头螺杆一体化施工，缩短了施工周期。

### 3.4 高性能水基钻井液技术应用

在一些页岩油气钻井项目中，非水基钻井液价格贵、钻井成本高，油基钻井液在钻井施工中存在容易导致井壁失稳、环境污染等技术问题，在大斜度井、大位移井及长水平段井中应用均不是最佳选择。而水基体系润滑性效果好，性价比高，流变性稳定，摩阻低，稳定的低转速数值，具有良好的抑制性；失水小、泥饼质量好：薄、韧、密、滑；设计灵活、产品种类少，与各种钻井水、盐水兼容性比较好。因此，高性能水基钻井液以其配方灵活，性能优良，实用性价比高，能够很好满足在快钻时的顺利作业，符合严苛的HSE标准要求，尤其是对于大斜度井、长水平段井起到良好的井眼净化效力，满足各种不同的条件，还能够降低摩阻和扭矩，抑制页岩水化膨胀和分散，有效保障了后续的下套管作业和完井作业顺利进行。新型绿色的高性能水基钻井液技术应用，钻井液性能优良，解决了广泛多样化的页岩地层的独特钻井条件，同时降低了钻井成本和减少环境影响，平均钻速比使用油基钻井液有着显著的提高。

## 4 页岩油水平井钻井提速关键技术应用的经济效益

页岩油水平井钻井提速关键技术应用，钻完井及下套管过程中保持井壁稳定，得到了更快的机械钻速，有效减少非生产时间，降低了钻井成本；在长水平段井眼能够保持较低的摩阻和扭矩，且泥饼质量好，有助于下套管和下完井工具，降低了卡钻风险，无需扫塞就能得到很好的井眼清洁效果，简单，容易维护，降低钻井液的稀释率，符合环保要求，高性能的体系提供了足够的抑制作用，提高了钻井施工效率，取得了良好的应用效果。

某油田页岩油水平井采用以“三开制井身结构+高性能水基钻井液+钻头螺杆一体化导向+精细控压”为主的提速提效关键技术，多口页岩油单井在应用该项提速关键技术后，顺利实现钻完井施工，钻井工程中单井平均费用由2300多万元，下降到2100多万元，

钻井工程投资节省200余万元，钻井工程费用由每米4500多元，降至每米3400多元，并且机械钻速提升在20%以上，钻井周期缩短1/5，钻井资金成本与时间成本均有明显降低，多维度实现页岩油水平井钻井的提速增效。

页岩油水平井钻井提速关键技术应用，使低品位、难动用的资源实现低成本、高效开采，能够顺利、优质、快速、低成本地完成钻井作业，最大限度地提高水平井产能，页岩油水平井钻井提速关键技术值得在页岩油井开发领域广泛应用与推广。目前，在绿色低碳和数字化技术的加持下，提速关键钻井技术的推广应用必将焕发出更优质的新生产力。

## 5 结语

页岩油水平井钻井提速关键技术的有效应用，在页岩油水平井钻井开发领域突破了一系列难题，也为油田企业的高效运营提供了强有力的技术支撑，保证了钻井起下钻顺利畅通，节省了钻井成本，降低了复杂事故的损失，减少了钻井周期，取得了可观的经济效益。未来，鉴于页岩油水平井钻井开采的复杂性和施工过程中的多变性，技术需要进一步升级，实施系统研发和协同创新，进一步增强钻具及一体化应用技术自主创新能力，为钻井提速降本提供更加坚实的保障。还应着重关注钻井新材料、智能设备及先进工艺在该领域的应用与创新，持续提升钻井技术水平，进而推动页岩油水平井钻井提速关键技术迈向新的高度，更好地服务于油井开采与油田经济发展。

## 参考文献：

- [1] 刘建华,牛福喜,王文朋,刘成文,高传梁.大庆古龙陆相页岩油优快钻井工艺探讨[J].石化技术,2022(12):16-18.
- [2] 吴奇,梁兴,鲜成钢,李峋.地质—工程一体化高效开发中国南方海相页岩气[J].中国石油勘探,2015(04):1.
- [3] 米洪刚,朱光辉,赵卫,张兵,彭文春,刘红星,吴见.沁水盆地潘庄煤层气田地质工程一体化应用实践[J].中国石油勘探,2022,27(01):120-126.
- [4] 金军斌,高书阳,陈晓飞.帅页3-7HF页岩油小井眼水平井水基钻井液技术[J].钻井液与完井液,2023,40(03):349-355.

## 作者简介：

吴楠（1991.10—），男，汉族，江苏盐城人，硕士，工程师，研究方向：钻井工程技术。