

## 供给

责任编辑:季佳欣  
电话:59963261  
邮箱:  
jix@sinopec.com  
审校:张春燕  
版式设计:王强

## 阅读提示

## 钻井液迭代升级 打开油气高产通道

钻井液技术围绕极端工况适配、绿色低碳转型、智能精准调控三大核心方向迭代升级,高端化、系列化、智能化、绿色化成为钻井液高质量发展的必然趋势

## 告别单一性能比拼 钻井液步入综合竞争力时代

石油工程技术研究院首席专家  
金军斌

钻井液,堪称石油钻井工程的流动“血液”,更是保障油气勘探开发安全高效推进的核心技术支持。当前,全球油气勘探开发不断向深层、深水、非常规复杂领域纵深迈进,钻井作业持续面临超高温高压、强水敏地层坍塌、长水平段摩阻偏大、环保管控标准严苛等多重难题,倒逼钻井液技术加快迭代更新。立足国家能源安全战略与行业发展大势,加速推进钻井液体系自主创新,突破系列关键技术瓶颈,成为钻井提质增效、赋能深地资源高效开发的必由之路。

纵观行业发展全局,当前国内钻井液技术正围绕极端工况适配、绿色低碳转型、智能精准调控三大核心方向迭代升级,成为支撑我国深层、非常规油气资源高效勘探开发的核心技术保障。

随着深地工程持续推进,国内油气勘探开发加速向万米超深层迈进,塔里木、四川等主力盆地8000米以深超深井已成常态化施工井型,多数超深井井底温度突破180摄氏度,重点探井温度超210摄氏度,极端超高温高压、复杂破碎地层对钻井液性能提出极限要求。传统常规钻井液体系面临高温流变失控、滤失巨增、井壁坍塌、抗盐抗污染能力骤降等难题,无法适配超深层钻探需求。以万米深井深地塔科1井为例,该井完钻井深10910米、井底温度210摄氏度,行业通过攻关超高温稳定水基钻井液体系,有效解决极端工况下多项技术难题,实现井筒安全零复

杂事故,印证了高端专用钻井液体系对深地勘探的关键支撑作用,也使得220摄氏度以上超高温钻井液体系成为全行业攻关重点。

在“双碳”战略引领下,绿色低碳已成为油气工程行业发展主旋律,环保性能成为钻井液研发、准入、应用的硬性指标,行业绿色革新节奏持续加快。近5年行业数据显示,国内环保型钻井液市场应用占比从32%提升至46%,高污染、难降解、固废处置成本高的传统钻井液逐步退出生态敏感区、主力开发区块。川南页岩气区块规模化应用低毒可降解水基绿色钻井液体系成功替代传统油基钻井液,施工成本降低40%以上,机械钻速提升25%,钻井液可无害化处理,实现安全施工与生态保护双向赋能。胜利石油工程、渤海钻探等企业通过推广可循环钻井液技术,实现完井液资源化重复利用,大幅降低固废排放量,推动钻井液技术向低伤害、低排放、可循环的绿色模式全面转型。

数字化、智能化技术与石油工程深度融合,彻底颠覆了钻井液经验配方、被动调控的传统模式,构建起分子定向设计、工况动态预判、智能动态调整的全新技术体系,实现从被动处置问题到主动预判风险的跨越。目前,国内多个油田试点应用AI智能配液与实时监测系统,动态调控钻井液流变参数、固相指标,精准匹配地层工况。新疆油田八区应用智能钻井液调控技术配套高效钻井液后,钻井综合效率显著提升,单井钻井周期缩短30%以上。

中国石化紧扣勘探开发一线实际需

求,锚定深层、非常规油气钻探痛点难点,笃定走好自主创新发展道路,严格遵循单体—单元—体系—链条研发逻辑,搭建起自主可控、性能优异的特色钻井液技术体系,为油气增产上产筑牢技术底座。

技术研发全程坚守需求导向原则,精准对标现场各类技术堵点。围绕超深井高温高压作业、页岩气长水平段井壁失稳、生态敏感区绿色钻探等核心难题,精准划定研发主攻方向,摒弃脱离现场的无效创新,确保各项科研成果落地能用、落地管用,实现科研创新和产业创新的深度融合。技术攻关阶段,严格遵循单体设计、单剂研发、体系集成的递进式研发路径,从源头打破核心技术壁垒。

依托功能单体分子结构创新,攻克耐高温、抗污染、强抑制类关键单体合成工艺,夯实高性能处理剂研发基础;依托自主研发核心单体,研制系列化钻井液用处理剂,打破国外技术垄断,实现降滤失剂、抑制剂、润滑剂等关键助剂自主可控;以自主研发为核心,结合现场重大需求,加强基础前瞻研究、创新体系构建方法,研发出适配各类场景的特色钻井液体系,打造出从源头单体研发到现场体系应用的完整创新链路。

根据这套成熟研发思路,中国石化多款特色钻井液技术完成研发并实现规模化落地,收到良好的应用成效。针对超深井钻探作业,研发适配240摄氏度工况的超高温高密度水基钻井液体系,解决万米深井高温下流变失控、滤失超标、井壁坍塌等行业共性难题,为深地一号等重点超深井平稳施工保驾护航,接连刷新国内多

项深井钻探纪录。

针对页岩油、煤层气等非常规油气开发,打造强抑制、低摩阻、绿色化高性能水基钻井液体系,有效替代传统油基钻井液,较好解决长水平段井壁稳定、钻进摩阻过大等难题,同时压缩环保处置成本,在苏北、鄂尔多斯等重点区块投入使用后,钻井周期大幅缩减,单井施工成本稳步下降。面向生态敏感区钻探作业,定制化研发绿色环保钻井液配套体系,引入可生物降解处理剂,实现钻井作业无毒无害、废弃钻井液资源化处置的目标,助力绿色勘探开发。目前,集团公司钻井液核心处理剂国产化率超95%,关键核心技术完全自主可控,多项成果达到国际先进水平,实现技术创新与现场应用的深度融合。

展望行业未来,油气勘探开发的作业环境更为复杂严苛,对钻井液技术创新提出了更高要求。钻井液竞争早已告别单一处理剂性能比拼的初级阶段,转向体系综合适配性、全周期施工成本、全过程环保合规、智能化应用能力的全方位综合竞争,须聚焦三大重点方向持续发力:一是攻坚极端工况下特殊钻井液技术,突破260摄氏度以上超高温超高压技术瓶颈,支撑特深层油气资源勘探开发;二是升级绿色低碳钻井液配套技术,研发全生物基环保钻井液体系,提升废弃钻井液闭环资源化利用效率,助力油气行业绿色低碳转型;三是布局智能钻井液技术研发,融合在线智能监测、AI动态调控技术,打造自适应调整、风险前置预警的智能钻井液体系,助力钻井工程智能化升级。

周“油”列国  
油事精彩

高性能水基钻井液在苏北  
溱潼1-2S05HF井成功应用。  
王海波 供图

**解决难题:** 深层超高温下钻井液失效及非常规油气开发中钻井液高性能与环保不可兼得

水基钻井液  
兼顾性能与绿色的利器

□李大奇

随着油气勘探开发持续向深层、绿色、高效方向发展,钻井液技术正面临前所未有的挑战。一方面,在万米深地的极端高温高压条件下,钻井液的耐温性能与长期稳定性已成为“卡脖子”难题;另一方面,环保法规日趋严格,在页岩气资源勘探中,传统油基钻井液的环境适应性短板愈加凸显。工程院依托多年技术积淀与自主创新,在超高温水基钻井液及高性能环保水基钻井液两大关键领域接连取得突破,为我国万米深地安全高效钻探及非常规油气绿色开发提供了坚实的技术支撑。

工程院超高温水基钻井液技术团队坚持自主创新,紧盯材料耐温性难题,逐一攻克技术卡点,研发出具有自主知识产权的超高温降滤失剂SMPFL-240L/H等系列。经数千组实验优化,构建的新型超高温水基钻井液体系耐温上限达220摄氏度提升至240摄氏度,实现了技术跨越。

今年初,超高温水基钻井液体系在新疆万米深井成功应用。在井底超230摄氏度极限环境下,钻井液各项性能满足施工要求,最终完钻井深达11116米,电测3天钻井液无

沉降,测井工具一次到底,助力该井创下万米井钻井周期最短及万米井全程使用水基钻井液完钻等多项国内纪录,彰显了中石化钻井液技术的硬实力。

针对复杂非常规地层水平井中环保与性能难以兼顾的难题,工程院聚焦水基钻井液环保性、润滑性、抑制性,提出“外防水侵+内控膨胀”井壁稳定控制与“液+固”复合成膜润滑减阻技术对策,自主研发了9种核心处理剂,成功解决井壁稳定和降摩阻等难题。

通过10多年持续攻关,高性能水基钻井液技术已迭代升级三代,体系耐温150摄氏度,极压润滑系数0.03~0.08,页岩裂缝封堵率高于90%,成本较油基钻井液低50%以上,实现环保与经济性双赢。

该技术已在苏北、西南等区块累计应用50余口井。在苏北页岩油区应用30余口井,老浆利用率高于40%。在重庆南川工区完成水平段长2100米的页岩气井施工,摩阻较邻井降低30%。在西南威页工区,首次实现中国石化深层页岩气长水平水基钻井液高效成井,水平段长1500米,井壁稳定周期长达73天。

**解决难题:** 深层煤层气水平井煤岩破碎失稳、摩阻大、储层伤害大

低渗胶束钻井液  
为深部煤层涂上“地质创可贴”

□郑文武 段然 王军

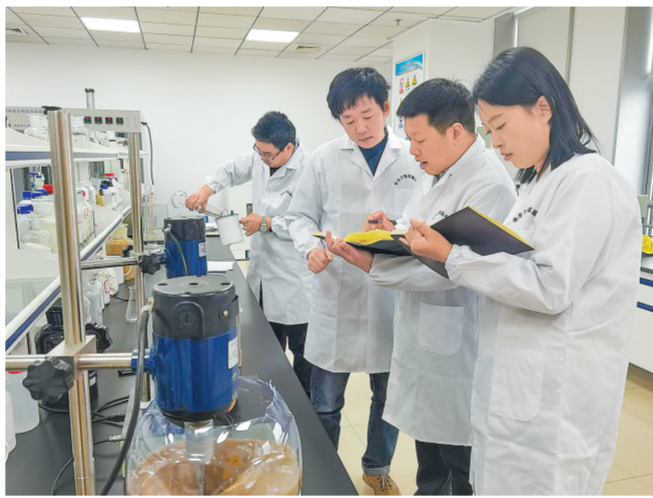
鄂尔多斯盆地深层煤层气资源丰富,但煤岩微细构造密布、非均质性强、地应力高,地层稳定性差,钻井液体系面临三大瓶颈:一是井壁失稳风险高,破碎煤层受扰动和应力释放易掉块坍塌、卡钻;二是轨迹与摩阻控制难,煤层非均质性强易出层,长水平段钻压传递差、套管遇阻;三是储层保护矛盾突出,钻井液侵入会造成不可逆伤害,影响单井产能。随着开发向深层、高熟、薄煤层延伸,传统钻井液如同“绣花针在流沙上刺绣”,难以支撑深层煤层气高效开发。

为打破技术桎梏,华北石油工程锚定能源保供使命,组建专项研发团队,聚焦井壁长效稳定、钻进提速提效、储层低损保护三大目标,

开展全链条自主攻关。

研发团队坚持“机理先行、逐层突破”思路,通过精密检测深度剖析煤岩结构与失稳机理,锁定胶束成膜、水化抑制、界面调控三大技术攻关方向。经多轮配方迭代、室内试验和现场优化,成功研发出深层煤层气MICEL(低渗胶束)钻井液体系。该钻井液可精准封堵煤岩纳—微米级裂缝,为煤层涂上“地质创可贴”。

MICEL钻井液先后在J58P48井、神木1HF井、新富1204HF井3口重点标杆井连续成功应用。其中,新富1204HF井是国内首口高熟薄煤层气水平井,面对平均厚度仅3.15米的“深、高、薄”复杂气藏,技术团队成功攻克超薄煤层、高坍塌应力的世界级难题,实现水平段一趟钻完井,为国内同类气藏开发贡献了“石化方案”。



华北石油工程技术人员正在结合生产实际研究试验钻井液关键封堵材料性能。  
段然 摄



中原石油工程现场工程师正在测量钻井液比重。  
程相东 摄



工程院针对南川页岩气井壁失稳和摩阻大的难题,开展机理研究,研发新型处理剂,迭代形成新一代高性能水基钻井液体系。  
唐文泉 供图

**解决难题:** 页岩油气、超深井等复杂地层钻井液井壁失稳、润滑防卡、环保受限、成本偏高

近油基钻井液  
性能比肩油基 环保优于油基

□杨晨涛 程相东

随着油气勘探开发不断向深地、页岩等复杂地层挺进,钻井作业面临多重瓶颈。高活性页岩、破碎地层易引发井壁失稳,普通水基钻井液抑制防塌能力不足,强抑制水基钻井液效果有限;传统油基钻井液虽能稳定井壁、保障润滑,但成本高昂、钻屑处理难度大,且存在突出环保风险。在页岩油气水平井、超深井及环境敏感区施工中,安全、高效、绿色三者难以兼顾,成为核心痛点。

中原石油工程自2012年启动技术攻关,组建专项团队,聚焦超强抑制、润滑、环保三大核心方向,历经14年闭环迭代,自主研发出近油基钻井液体系。团队通过分子修饰、扩链、接枝等手段,深度改性烷基糖苷、壳聚糖等生物基材料,成功研制出近油基钻井液与系列环保处理剂,打造出机理与油基相近、性能比肩油基、环保优于油基的高性能水基钻井液。产品耐温达180摄氏度,适用密度1.15~2.55克/立方厘米,可全面满足复杂地层钻井需求。

近油基钻井液实现安全、高效、绿色协同突破。安全方面,依托低水活度反渗透驱水、吸附成膜阻水、嵌入拉紧晶层三重机理,构建强抑制强封堵体系,从根源解决页岩水化分散、地层坍塌问题,筑牢钻井安全底线。高效方面,凭借强吸附成膜降摩阻与优良携岩能力,有效避免页岩床形成,降低钻柱扭矩与摩阻,杜绝定向托压、卡钻事故,显著提升钻进效率。绿色方面,作为水基体系,其综合成本较油基钻井液降低30%以上,老浆重复利用率超90%,钻屑按普通水基固废处置,环保压力大幅下降。

目前,近油基钻井液已在顺北、川渝、松辽、苏北等多区域应用近60口井。在涪陵国家级页岩气示范区应用34口井,集页66-检5井刷新水平段连续取芯多项世界纪录,集页5-26HF井刷新国内页岩气水基钻井液口进尺(630米)纪录;松页油2HF井突破松辽盆地页岩油水平井水基钻井液施工禁区;顺北11X井完钻井深9093米,创120毫米“井眼”亚洲最深纪录。

**解决难题:** 钻井过程中的储层伤害

无黏土储层钻井液  
重塑钻井液与地层和谐关系

□梁子波

近日,由胜利石油工程钻井液技术服务中心提供技术服务的胜利工区桩12-平33井喜获日产量23吨的高产,含水率仅58%。这是该中心应用储层钻井液保护储层的典型案例。

钻井过程改变了原有的地层状态,传统钻井液中国液相侵入油气层并与油气层中的固液相发生物理化学变化,造成油气层渗油能力降低进而影响产量。因此,研发储层钻井液成为必需。

“作为储层保护关键技术之一,储层钻井液国外技术价格高不说,在国内还水土不服。”该中心油田化学研究所蓝博士团队历时近20年,开展上千次体系配方构建、储层保护效果评价实验,最终自主研发出无黏土储层钻井液系列技术。

低储层伤害。与常规储层钻井液相比,无黏土储层钻井液体系特点鲜明:固相解除效率高,密度调节范围广;高温稳定性好;井眼清洁能力强;封堵性能优异,减少滤液侵入;活度平衡与较低表面张力协同,保障稳定井壁,提高有效渗透率;岩芯渗透率恢复值超过90%,环保效果好。

在胜利油田海上增产主阵地埕岛油田,团队围绕“培育高产高效井”目标,量身定制有机盐无黏土疏水储层钻井液,专门用于储层段钻进,近3年完成30余口井施工,平均日产量远超设计方案。

针对胜利工区地质条件复杂的实际,为维护长水平段高渗透疏松砂岩井壁稳定,团队专门研制出醇基无黏土储层钻井液,在桩139示范区施工6口井,井壁稳定效果良好。

截至目前,无黏土储层钻井液系列技术在胜利海上、胜利东部及大牛地气田等区域累计应用200余口井,增产油气当量300余万吨。该技术经鉴定达到国内领先水平,先后获得集团公司技术发明二等奖和山东省科技进步三等奖。