

技术

过钻头存储式测井技术：复杂井况的“测井神器”

经纬公司过钻头存储式测井系列仪器完成现场施工1600余次，复杂井况测井成功率大幅提高

仪器“下得去、测得准，能记忆、会思考”



江汉油田过钻头存储式测井作业现场。

李占军 摄

□赵春国 刘福宽 丁静

近日，经纬公司胜利测井公司使用自研过钻头存储式测井技术顺利完成胜利油田重点评价井王斜172井完井测井施工任务，测井资料合格率、测井一次成功率均达100%。“我们不仅攻克了水平段长、井壁塌陷等复杂井况难题，还避免了电缆测井存在的阻、卡等重大作业风险。”测井队长邹文波说。

近年来，随着油气勘探开发越来越复杂，经纬公司自研过钻头存储式测井系列仪器并持续迭代升级，在胜利东部、东北、西北、西南、海上等区块实现全场景应用，完成现场施工1600余次，成为油田“四提一降”及解决复杂井况测井难题的有效手段，大幅提高了复杂井况测井成功率，是胜利页岩油首选测井工艺，创各类施工纪录20余项。

给哪吒装上“风火轮”

“测井被称为油气勘探开发的眼睛，但超深井、大斜度井、水平井等复杂井况越来越多，常规测井仪器下不去，过钻头的作用就像给哪吒装上‘风火轮’，让仪器在几千米井下去自如。”胜利测井公司测井项目部副经理步斌说。

“风火轮”怎么装？国内并无先例。经纬公司测井工程技术专家王金茂和同事反复试验测试，决心借助钻头搭桥，先后攻关突破仪器释放和抓取技术、井下无线通信技术、小直径大功率换能器设计及密度源纵向安装设计等多项技术难题，自研成功过钻头存储式测井系列仪器。与常规测井仪器相比，新仪器不仅提高了复杂井况测井时效，也缩短了测井仪器入井时间。

“过钻头存储式测井系统突破了常规电缆测井的束缚，将测井仪器穿过钻头水眼输送至井底，在起钻过程中完成数据采集并存储于仪器内部，既实现仪器‘下得去、测得准’，又让仪器‘能记忆、会思考’，安全性、时效性、稳定性都大幅提升。”王金茂介绍。

采用专用的小直径过钻头仪器和工具，凭借重新设计的空心钻头，技术人员将传统通井环节与

测井过程整合，形成通测一体化、超长距离泵送、全井段实时采集等过钻头存储式测井特色技术。

2023年9月，全新的自研过钻头存储式测井仪器在“深地工程”顺北油气田重点评价井顺9P1H井应用成功，创西北工区过钻头存储式测井最深纪录。此后，新仪器在胜利东部、西北、南海等工区连连捷报，不仅保障了安全、时效和稳定性，而且缩短了通井周期。

克服仪器“水土不服”

“分析工艺推广初期30口过钻头施工井的统计数据，经过工艺改进后回收成功率从原来的39.5%提高到97%。”集团公司测井技能大师李军说。

过钻头存储式测井系统在推广过程中，“水土不服”问题开始显现——仪器在测量大斜度井段完毕起出时，多次出现仪器回收不成功的情况。

通过分析，李军发现，过钻头吊挂系统设计不合理是影响回收成功率的关键。为尽快攻克难关，李军、范德顺等人几乎吃住在工作室，夜以继日细化改进措施；改进吊挂系统仪



经纬公司胜利测井公司员工正在进行过钻头存储式测井施工前的仪器连接工作。 李战勇 摄

器舱、改进抓取部件、重新设计挂套等，并在最短时间内加工制作出符合要求的样品，进行现场测试。

改进措施后，回收成功率难题迎刃而解，过钻头测井仪器半年内完成复杂井测井施工255口，累计缩短建井周期155天。其中，丰页1-6HF井创集团公司非常规页岩油水平井测井井深最深、水平段最长纪录。

翻越地下“火焰山”

“在井下异常高温、井眼复杂等严苛环境下，200摄氏度高温过钻头测井仪发挥了关键作用。”干了十几年的测井队长李勇志表示。

3月20日，胜利测井公司利用全新的200摄氏度高温过钻头存储式测井仪器完成胜利油田重点井牛斜104侧井施工，创过钻头测井施工井温最高纪录（201摄氏度）。

“牛斜104侧井完钻井深6051米，由于井下温度奇高，井眼轨迹异常复杂，测井难度之大历年罕见，常规测井仪器根本无法满足要求。”王金茂说。

对于测井仪器而言，高温是最难战胜的拦路虎。井下温度每升高1摄氏度，仪器零件的耐受能力、形变程度及功能都会变化。据了解，目前国内常规测井仪器的耐高温、耐压极限一般为175摄氏度、140兆帕，只有研制新型200摄氏度高温过钻头测井系列仪器，才能翻越地下“火焰山”。

犹如孙悟空借来芭蕉扇，技术人员打破国外垄断，完善小直径仪器理论计算方法，突破高温低功耗电路及高强度小直径设计等关键瓶颈，研制了200摄氏度过钻头存储式测井系列仪器，包括吊挂存储通信短节、自然伽马能谱、井斜方位、数字声波、阵列感应、偶极声波、岩性密度、补偿中子、孔径等测井仪器及配套辅助工具，整套装备国产化率达到99%，满足了高温复杂井等测井技术要求，为深层超深层及页岩油气的勘探开发提供了强力支撑。

截至目前，200摄氏度过钻头存储式测井系列仪器已在胜利东部完成利页4HF井、樊页1-31HF井等6口井的测井施工，解决了高温环境下油气勘探的关键难题。

阅读提示

随着油气勘探开发向“两深一老一非”进军，复杂井况日益增多，常规测井工艺面临“下不去、测不准、易阻卡”的困局。过钻头存储式测井技术让仪器通过钻头水眼直达井底，在起钻中完成测井数据采集，是传统电缆测井与随钻测井在复杂井况下的高效补充手段，施工效率和成功率大幅提升。目前，过钻头测井工艺已实现了规模化应用。本版聚焦过钻头存储式测井技术——从大斜度井到页岩油长水平段、从垮塌层到高温探井，看这项技术如何实现通测一体、遇险回收、精准探路，成为复杂油藏高效勘探的利器。

周“油”列国
油事精彩

专家视点

多工艺协同、数智化赋能
纵深推进测井技术创新

□中国石油大学(华东)地球科学与技术学院测井系教授、博士生导师 孙建孟

测井从1927年诞生算起，已有近百年的历史，先后经历了模拟测井时代、数字测井时代、数控测井时代、成像测井时代，现已进入网络和三维测井时代。

为应对复杂的测井环境及降低测井作业成本，20世纪90年代末，国外一些知名油服公司开始研发过钻头测井技术，可使建井成本降低9%~12%。该技术是对电缆测井与随钻测井技术的重要补充。2005年后，过钻头测井系统在北海、美国得克萨斯等地进行了多次测试，大大节约了钻井时间和成本，特别在井眼条件较差的复杂井中，仍能获取高质量的地层评价数据。2008年12月，过钻头测井系统在得克萨斯完成首次商业应用，在目的层段采集了阵列感应、补偿中子、补偿密度和自然伽马测井数据。

近年来，随着我国油气勘探开发转向“两深一老一非”等重点领域，非常规复杂结构井、超深井及井眼条件恶劣的应用场景日益增多，国内也逐渐意识到过钻头测井系统的重要作用并加以研发应用。

据了解，国内大型石油企业均自主研发了过钻头存储式测井系列仪器，并做了大量行之有效的工作。一是针对现场出现的技术问题开展全维度溯源分析，抓实过钻头工艺变更全流程管理；二是建立过钻头存储式测井全生命周期数据库，通过数字化手段预判仪器保养节点，实现设备保养的超前规划与精准执行，保障仪器长期稳定运行；三是结合不同井况的差异化需求，统筹发挥电缆测

井、泵出式测井、直推测井、过钻头测井等工艺的技术优势，构建多工艺交叉应用的协同保障体系；四是持续推进通测一体、套后测井等关键工艺及装备的迭代升级，重点攻关过钻头成像测井技术，进一步提升测井数据可视化精度，同时强化井涌动态应对、泥浆脉冲实时监测等核心功能。目前，我国过钻头测井技术的应用成效日益显现，已成为页岩油气水平井及复杂井况测井的主力技术，实现了规模化应用，为复杂油藏的高效勘探与效益开发提供了坚实的技术支撑。

当然，过钻头存储式测井技术是一项新兴技术，加之我国油气勘探开发地层、井况更加复杂，既需要经历市场认知、现场验证与经验积累的过程，给予充足时间持续改进完善，也必须坚定发展信心，立足不同应用场景迭代提升。

在此提三点建议：一是要聚焦“两深一老一非”等领域的油气勘探开发难题，持续提升过钻头测井装备的耐高温等级与工艺适应能力，加快突破高温高压、超深井等极端条件下的测井技术瓶颈，为各类油气资源效益开发提供技术支持。二是要结合不同工区的井况特点，做好过钻头存储式测井与其他工艺的适应性对比，明确各类井况下的最优工艺方案，积极探索“过钻头+”组合应用模式，最大化发挥各类测井工艺交叉应用的保障体系应用效能。三是数字化转型和智能化发展为抓手，持续深化人工智能与测井技术的融合，推动远程测控、智能验收、智能解释等新技术的落地与规模化应用，以数智化转型赋能油气勘探开发提质增效，切实用新技术助力保障国家能源安全。

企业实践

中原油田面临的难题：非常规领域勘探开发过程中井眼垮塌、页岩膨胀收缩等复杂井况

为复杂油气藏精准“探路”

□杨敏 袁旗林 吴小丁

近日，中原油田桥29-79井依托过钻头存储式测井技术实现一次性电测成功。该井井斜角度大，完钻井深4150米，井下易出现井眼垮塌、页岩收缩等问题。

“此类井以往通井、测井工序至少耗时3天，仪器遇阻遇卡、井下故障风险较高。我们采用过钻头存储式测井技术，精准适配复杂井况，有效规避卡钻风险，大幅压缩施工周期，降低施工风险。”中原油田钻井工程专业专家李华照说。

过钻头存储式测井技术已在中原油田应用50余井次，常规测井多次遇阻遇卡的疑难井施工成功率达100%，测井一次成功率由常规方法的72%大幅提升至98.5%，单井测井作业周期平均缩短38%，井下遇阻、遇卡、垮塌等复杂事故下降65%。

随着中原油田勘探开发不断向深层、超深层、非常规领域纵深推进，井下地质条件日趋复杂，测井施工难度大幅增加。传统电缆测井在井眼垮塌、页岩膨胀收缩等复杂井况常常“束手无策”，遇阻遇卡现象频发，成为制

约安全高效勘探的瓶颈。

如何为复杂油气藏精准“探路”？过钻头存储式测井技术展现出独特优势。过钻头存储式测井仪器具有小型化、高可靠性、高通用性等特点。在水平段超过1000米的复杂裸眼井段，常规测井工具往往因井眼不规则、井壁不稳定等问题难以完成施工，而过钻头存储式测井仪器能够有效应对井眼垮塌、页岩膨胀收缩等复杂井况。

具体来讲，该技术依托钻头刚性导向优势，仪器运行轨迹稳定，贴合井壁采集数据，有效规避仪器卡顿、卡顿造成的数据缺失问题，大幅提升地层物性参数、储层识别、岩性划分的精准度；在工期管控方面，该技术简化施工流程，省去常规测井中反复通井、试通、提下仪器等冗余工序，减少停等、返工、处理复杂事故的时间。

“以往复杂疑难井频繁返工、工序叠加，造成工期延长，如今施工流程紧凑连贯，作业效率大幅提升，实现工期缩短、工序降耗、事故降费三重效益。”李华照介绍。

目前，过钻头存储式测井技术已成为中原油田复杂及非常规油气藏高效安全测井的关键支撑技术。

江汉油田面临的难题：非均质性强、通过性差的地层特性和大井斜、长水平段、小井眼、易垮塌等复杂井况

针对复杂井型优势突出

□蒋婧雨 黄迪箫 徐家文 李婉辛

近日，江汉油田红星区块预探井红页6HF井在复杂井况下成功应用过钻头存储式测井工艺，顺利高效获取全准各项储层参数，有效解决了传统电缆测井“下不去、测不准、效率低”的突出问题。

随着江汉油田勘探开发纵深推进，气田水平段持续延伸、油区井眼轨迹日趋复杂，传统电缆测井技术在长水平段易遇阻遇卡，数据采集缺失，常规杆输送测井工序繁琐，占井周期长，成为制约储层精准评价、高效建产的瓶颈。

江汉油田联合经纬公司打造过钻头存储式测井成套技术，形成“仪器过钻头+钻杆泵送+存储采集+全井段回收”一体化作业模式。该技术无须将钻具组合提出井口，测井仪器外径小于钻头内径，将测井仪器穿过钻头水眼，通过泵送或仪器自重到达井底，测后由钻具带出井口回收读取数据，全程不依赖电缆，实现测井作业一体化、高效化。

针对该油田盐膏层易收缩、页岩段易剥落、水平段摩阻大的地层特

点，技术团队开展全链条定制化攻关。采用小直径高强度仪器串，增设柔性扭结与防退机构，提升通过性与抗扭能力。建立长水平段摩阻预测模型，优化泵送排量与钻具组合，实现超4000米远距离稳定输送。使用高温大容量存储模块，确保仪器安全回收，解决传统工艺“测得到、收不回”的问题。

“相比传统电缆测井，过钻头存储式测井针对复杂井型优势突出，大井斜、长水平段、小井眼、易垮塌井都能顺利测井。”江汉油田工程院主任师周庆介绍。仪器全程在钻具保护下作业，边循环边测井，遇到溢流可快速关井，并控风险大幅降低，且效率高、成本低，通井与测井一趟钻完成，减少起下钻次数、缩短建井周期，降低综合成本。

目前，该技术已在江汉油田规模化应用超120井次。在焦页162-2HF井应用中，创集团公司过钻头测井最大井斜（108.8度）纪录；复兴区块多口页岩油井在3000米级长水平段实现“一趟测、全录取”，资料合格率100%，施工时效较传统工艺提升50%以上，占井时间缩短40%。

胜利油田面临的难题：大位移水平段、大斜度等复杂井况

更能适应复杂地下状况

□徐海峰 李继刚

胜利油田规模化应用过钻头存储式测井技术，有效破解井壁垮塌等难题，避免常规电缆测井遇阻遇卡的风险。自2022年以来，年均实施170口，测井资料合格率和一次成功率均大幅提高。

在大位移水平井、大斜度井等复杂井，应用常规测井方法容易发生下入电缆与仪器“对枪”对不上、电缆缓下等问题，有时处理复杂状况多花三四天。

过钻头存储式测井技术能够有效破解该难题。该技术采用特殊钻头完成测井施工，更能适应复杂的地下状况，钻具能下到哪里，测井就能测到哪里。目前，该技术实现通井、测井一体化，节约测井前后的两趟通井，能够节省工期两天左右，为油井顺利投产奠定良好基础。除提高测井时效外，新技术还能提高测井成功率和安全系数。在钻具遇卡等特殊工况时，可随时下电缆抓取、回收测井仪器和放射源，施工作业更加安全。

过钻头存储式测井技术已经成为胜利页岩油指定测井技术。目前，胜

利页岩油勘探开发过程中出现的长达数百米、上千米的水平段让测井技术难度陡增。该测井技术在水平井适应性强，应用于樊页、牛页、丰页等上百口页岩油水平井，成功测得优质测井资料。其中，在胜利东部工区创水平井测井水平位移最大纪录（3604米），以及井底温度最高纪录（204摄氏度）。

过钻头存储式测井技术为城中油田勘探开发提供便利。胜利油田许多油区地处城区，受制于土地限制，地下靶点不在井口正下方，多以“台子井”为主，需要打大斜度井、水平井。近日，东辛采油厂营87-侧平37井顺利完成测井工作，从地下带回自然伽马、自然电位、补偿声波等资料。胜利油田东辛厂地质所钻井室副主任吕海东介绍，得益于先进的过钻头存储式测井技术，才能顺畅获取测井资料。

该测井技术在复杂井况同样得到广泛应用。以营12侧斜68井为例，该井最大井斜为21度，最初采用传统电缆工艺进行测井施工，但受复杂井况影响，电缆工艺受阻，即便经井筒处理后仍无法解决。经各方综合研判，决定改用过钻头存储式测井技术，最终仅耗时13小时便顺利完成测井作业。