



技术引领市场⑨

井下电视技术像内窥镜，让井底状况一目了然；
套管变形预警技术如同超声检查，能在套变发生前捕捉微弱异常信号，实现未病先防；
产剖测试技术似动态心电图记录仪，可实时追踪生产动态。



西南油气金场1号压裂现场。江飞亚摄

井下电视技术——内窥镜

套管变形预警技术——超声检查

西南油气

高清直播呈现数千米井下真实状况

□彭小娇 董月 许剑

西南油气创新井下电视技术，打造出耐高温、超广角、防污的井下电视，使其成为井筒“内窥镜”，实现高清视频成像动态监测，为气井健康诊断提供精准依据，助力工作人员快速掌握井筒真实状况，支撑后续井下作业。

在数千米深的气井中做诊断并非易事，井下电视要面对极端高温、高压和复杂介质干扰等多只“拦路虎”。井下温度动辄超过100摄氏度，而国内外图像传感器芯片最高仅能承受85摄氏度。井下工作液、油污等会瞬间污染镜头，高温水气还会让镜头起雾，导致画面模糊不清，这就好比“内窥镜”镜头沾满黏液，医生根本无法看清病灶。

为突破高温限制，团队创新采用“三重阶梯绝热+温控相变储热+低功耗放热”物理隔热方案，就像给井下电视穿上了多层“隔热铠甲”。最终，设备能在175摄氏度工况下连续稳定运行3小时，刷新了行业耐温纪录。针对镜头污染和起雾问题，团队研发出温

控可溶防污罩，镜头进行纳米涂层处理，就像给镜头戴上“智能防护盾”，能在抵达监测点前自动保护镜头，避免提前污染。团队还开发出温度、压力短接装置，让井下电视不仅能“看”，还能同步“测”，实现“井下视频+测温、测压”一趟式作业，直接砍掉重复下井的成本，效率翻倍。

它就像被送入气井深处的“微型探头”，沿着井筒一路下行，在175摄氏度高温下依然能实现1080P高清摄像，将千米井下的真实状况以高清晰度直播呈现。管柱哪里出现了腐蚀裂痕，井下落鱼究竟卡在何处，井下堵塞物是什么模样……这些曾经深藏不露的“病症”，在井下电视的“火眼金睛”里无所遁形，为气井健康诊断提供最直观、真实、可靠的依据。

如今，这台气井“内窥镜”已经在35口井上大显身手，精准揪出管柱腐蚀、井下落鱼等“病灶”，涵盖各类复杂井况，成为公司诊断气井“病症”的有力武器，为气井的高效开发和长期稳定保驾护航。

江汉石油工程

掌握压裂后每个孔眼的真实细节

□邱嘉辉 郑波

在焦页26-4HF井现场，江汉石油工程成功将井下电视技术创新用于压裂孔眼测试领域，首次实现了压裂效果评价精度从宏观段簇级到微观孔眼级的重大突破，如同在井下用上了一台高精度内窥镜。

在数千米深的地下，给坚硬页岩层实施压裂改造，需打开无数条如指甲盖宽度的孔眼通道。这些“窗口”的状态，直接决定页岩气能否顺畅流出，更是精准评价压裂效果的核心。然而，掌握压裂后每个孔眼的真实状态，始终是行业难题。现有微地震、光纤、高频水击等技术虽各有优势，却只能感知压裂段和射孔簇的整体情况，难以精确捕捉单个孔眼细节。

该公司在井下电视技术成熟应用基础上，历经两年攻关，将其延伸至压裂孔眼测试领域。这套井下电视能深入井底，直接观测并清晰记录压裂后每个孔眼的真实状态。孔眼形状变化、边缘磨蚀特征等细微之处无所遁形，检测精度高达0.01毫米。这标志着评价精度首次精细到孔眼级别。“以前评价像隔靴搔痒，靠整体数据推测。现在有了‘内窥镜’，每个孔眼都看得清，评价更有底了。”光电测试技术员邱嘉辉感叹。

井下电视技术的现场应用效果显著，全井段平均孔眼获取率达80%以上，0.01毫米精度可清晰呈现最细微变化。一次下井作业，不仅能精准评价孔眼磨蚀形态和通畅性，还能同步完成桥塞坐封评价和井筒套损检查，

大幅提升效率。“过去作业获取孔眼信息量非常有限，费时费力。现在一次下井就能一网打尽，高效安全。”光电队负责人张翔介绍。

更重要的是，基于“内窥镜”成像和测量的数据价值巨大，技术人员能以“孔级”精度分析单孔眼状态，也能评估段、簇级别整体进液和进砂情况。这些数据为优化“极限限流”压裂设计、指导射孔参数、评估新工艺提供了关键支撑。持续积累的数据正构建服务于单井效益评估的压裂大数据库，帮助油田企业追溯改造细节，优化后续设计。“孔级数据是精确的‘个体画像’，提供了前所未有的细节支撑，油田企业高度评价，这是精准压裂的关键一步。”该技术研发负责人孙文松说。

目前，该技术已在涪陵页岩气田应用6口井，成功采集孔眼磨蚀、桥塞坐封等关键信息，有效指导了同平台后续井参数优化。依据该技术优化方案实施的首口提产标杆井——焦页77-4HF井，已获高产气流，充分验证了对复杂压裂过程的理解，为精准评估效果、科学优化设计打开了新视角，也显著提升了其在页岩气开发领域的技术实力和核心竞争力。这台“内窥镜”，正成为推动页岩气压裂设计向精细化、高效化、可视化降本增效目标迈进的重要支撑。

□范伊娜 朱洪宇 苏倩 赵春国 王力

在数千米的地层深处，一口口水平井如同“地下血管”，输送着宝贵的油气资源。高温高压、强腐蚀、复杂应力等恶劣的井下环境，常使这些深井出现套损变形、管柱腐蚀、井下落鱼等问题，而传统监测手段难以准确诊断，制约了深层、非常规油气的安全高效开发。

测井如同油气勘探开发的眼睛。西南油气、经纬公司、江汉石油工程等单位深度融合大数据、人工智能等新技术，全力突破关键核心技术，加速形成新质生产力。目前，由井下电视技术、套管变形预警技术、产剖测试技术组成的智能监测技术集群已规模化应用。其中，井下电视技术在西南、华北、华东等工区推广，套管变形预警技术在胜利非常规页岩油、西南等工区应用，产剖测试技术在胜利、西南等工区取得显著成效。以西南油气永页16-1HF井为例，5月12日应用温度压力法产剖测试技术，成功实现1800米水平段产出剖面的定量解释，为储量评价提供了重要依据。

“油气井需要多维度、精准化健康管理。”西南油气石油工程技术研究院采输工艺所党支部书记、副所长刘通介绍，该技术集群如同技艺精湛的“全科医生”，为深井提供“全生命周期健康管理”。

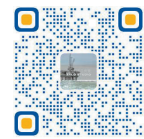
技术突破方面，井下电视技术通过三代迭代，独创“温控可溶防污技术”，实现175摄氏度高温环境下1080P高清成像，作业成本降低80%。套管变形预警技术攻克强干扰环境下的信号识别难题。产剖测试技术更是将测试精度提升至射孔簇级别，较传统方法数据采集更全面。

以井下智能监测技术在西南油气应用为例，今年以来，综合提升作业效率达40%以上，为深层非常规油气安全高效开发提供了可靠保障。井下电视技术完成6次井底检查，事故处理时效提升65%；温度压力法产剖测试技术应用两口井，测试成功率100%；套管变形预警技术实施36次，预警成功率100%。

下一步，各企业将继续深化产学研联合攻关，进一步开发智能诊断系统，为每口井建立专属“健康档案”，以创新技术助力油气高质量勘探开发。

装备工程

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



周“油”列国
油事精彩



西南油气石油工程科研团队讨论温度压力法产剖仪优化方案。
范伊娜 摄



经纬公司员工在产剖测试施工现场做好设备紧固工作。
熊杰 摄

产剖测试技术——动态心电图记录仪

西南油气

让地下油气流动状态清晰可见

□管圆圆 邓润 刘通

精准获知水平段产出剖面是当下开发方案优化的关键，然而传统技术却不从心：分布式光纤容易数据失真、测温不准，阵列涡轮测井仪卡堵频繁，示踪剂监测结果模糊且争议大……这些问题如果不能有效解决，不仅延误工期，而且后期其他井压裂施工就像蒙眼打靶，浪费材料。

经过西南油气水平井温度压力法产剖测试技术项目团队的不懈努力，“铂热高精度温度计、蓝宝石压力感应、数字磁定位”集成的温度压力法产剖测试仪（TPC）诞生。但测井工具只是基础，关键在于产剖定量解释方法。项目团队带着大型实验设备与西安交大开启跨界攻坚。夏夜闷热，实验台上温度压力法产剖测试仪模拟井下作业，第98次数据测试失败。就在大家疲惫时，项目负责人许剑发现流量微小波动下的温度变化，并立刻投入模型计算。

经过一年数千组数据演算，团队终于建立射孔眼气液两相降温降模型，破解了温度与油气流动的密码。

2022年深秋，威页35-7HF井测井实战成功。1.5米TPC工具在4000米深射孔簇滑过，监控屏现“V形谷”，这是气流“指纹”。仅19个小时，就绘出1500米水平段“产能地图”，锁定无效射孔簇。压裂团队根据产剖仪传回的地层数据，优化其他平台施工方案，单井减少加砂量420吨，测试产量反而提升40%，节约成本数百万元。

如今，水平井温度压力法产剖测试技术正改变着油气开发逻辑，在川西中浅层、川西须家河、川南页岩气等工区开展了数十井次的现场应用。新技术应用成本仅为传统光纤测试工艺的30%，采样间隔却由传统的每米2点提升至每米10点，实现了射孔簇级产出剖面的精细识别，指导了压裂改造方案优化。许剑说，这台“动态心电图记录仪”让地下油气流动状态清晰，助力高效管理。

经纬公司

攻克高含硫气井产剖测试技术难题

□赵春国 邵晓玲 李国良

7月11日，川渝工区元坝103井施工现场热浪滚滚，经纬公司西南测控测井队长熊杰带领队员顶着烈日仔细检查设备，为产剖测试技术在该井应用做最后准备。

针对四川盆地碳酸盐岩油气藏“高温、高压、高含硫”等难题，西南测控着眼于气井动态监测提供技术支撑，通过“超深含硫气井试井钢丝作业技术配套研究”科研攻关，解决了高含硫气井试井作业过程中含硫固相物、井内杂质易附着钢丝，以及盘根磨损严重、高温高压密封困难等一系列技术难题，形成一套有效的超深酸性气藏试井作业解决方案。

目前，该公司已组建两支专业化试井队伍，配备耐温175摄氏度、耐压

100兆帕的防硫生产测井仪及FP65-105系列防硫防喷设备。今年以来，产剖测试技术已在元坝2-2H井、元坝29-2井等重点井成功应用。

在元坝15井施工中，技术团队通过压力恢复测试发现产气量高、水气比高的特征，提出“控产18万~20万立方米/日”的优化建议，被西南油气采纳实施。元陆103H井更是通过6次压力恢复试井施工，为元坝1井至元坝102井之间长兴组礁滩复合体气藏动态跟踪分析提供了精准数据和科学支撑，有效提高了含水区气井储量动用率和采收率。

据统计，该技术已在西南油气、普光气田等工区完成43井次施工，为高含硫气田安全高效开发提供了关键技术保障。下一步，西南测控将深化技术迭代升级，为更好服务勘探开发、打造产剖测试技术品牌贡献更大力量。

□薛凡铃 陈宜 苏键

在四川威荣页岩气田，数千米深的井筒内，高压压裂液冲击岩层，套管变形定位仪（CDL）随电缆、桥塞、射孔工具深入井筒。地面监控室技术员夏彪紧盯屏幕，突然，波形异常跃起，他立即通过对讲机喊道：“4896米处磁信号异常，是轻微套变，通知井下暂停作业，更换小一号桥塞，绕开这个‘雷区’。”一次潜在的井筒“血栓”被精准预警，压裂施工得以避开“暗礁”。

天然气生产中，地下套管如同人体血管，承担输送天然气的重要任务，但长期受地质应力、腐蚀和高压环境影响，易导致套管变形破裂，就像血管出现血栓。西南油气石油工程技术研究院自主研发的套管变形预警技术如同给深埋数千米的套管做实时“颈动脉超声”，实现毫米级精准预警。

过去常用的套管接箍定位仪（CCL）仅能探测套管连接处金属突变产生的磁信号，难以捕捉微小变形。这好比老式听诊器，仅能“听”到体内明显的结构异常，却难以捕捉像血栓那样微小的病变。而CDL通过高灵敏度传感器，捕捉套管变

经纬公司

实时预警+精准检测 实现套管“未损先防”



胜利工区施工现场，经纬公司技术人员正在对接检查套变检测仪器，精准检测套管漏失位置和损伤情况。
张兴杰 摄

□赵春国 丁静 张兴杰

7月13日，在胜利非常规页岩油试验关键项目——利页1井组泵送桥塞射孔施工中，经纬公司胜利测井利用非常规油气井套变实时预警技术，及时发现套变预兆，指导用户重新优化压裂方案，成功抑制了两口井套变的加剧，拯救了近500米的水平井段，助力该井组安全优质高效完成施工，受到甲方高度赞扬。

在非常规页岩油气勘探开发中，受储层应力、布井间距、压裂工艺等影响，套管变形问题频发，严重阻碍了施工进度，进而造成井筒破损，影响套变位置及深层段油气开采。

2023年以来，胜利测井针对西南、胜利等工区页岩油气勘探开发需求，成立技术攻关组，通过编制套变预警模块，跟踪、

对比分析磁性信号、张力、速度、温度等参数变化，拟合套变前期异常响应曲线，实时预判套管变形风险，准确识别套管变形部位，对套管可能受到的损伤进行高效预警，为现场优化施工方案提供了科学依据，实现了对井筒全生命周期的安全健康监护。

在四川盆地页岩气开发重点区块威荣区块，井口停泵压力60兆帕以上，井筒变形时有发生。胜利测井技术团队利用套变实时预警技术，科学分析判断井筒安全性，实时发现套变预兆并准确预警，“一段一策”开展施工方案优化设计，安全高效完成162段施工，将套变影响降到了最低，为该区块页岩油气增储上产打下坚实基础。

技术团队针对胜利页岩油气井埋藏深、温度高、压力高等套管变形检测难题，采用激光焊接、高温传感等技术，研发了耐温200摄氏度、耐压140兆帕的套管裂缝、孔洞、椭圆等不同套变类型的检测仪器，准确判断套管变形的情况。在博兴注陷页岩油区块，采用多臂径+磁测厚+井温+超声成像等系列检测技术，清晰描述套变形状、大小及变化趋势，为治理井筒和调整优化后期开发方案提供了有力技术支撑。

截至目前，胜利测井已在多个页岩油气区块应用该技术，实现现场施工过程中套变预警和检测，为压裂方案优化提供科学依据，降低了施工风险，提升了施工效率。目前，该技术已成为胜利济阳页岩油国家级示范区建设关键配套工程技术之一。