

低成本监测技术助力能源行业实现可持续发展

当今能源行业发展以运营效率提升、数字化转型以及低碳能源体系加速转型为核心特征,监测技术已然成为现代能源生产的基石。无论是传统油气开采,还是氢能、地热、碳捕集和分布式可再生能源等新兴领域,实时数据的采集、分析与应用,对于优化生产流程、保障作业安全及满足日趋严苛的环保与监管要求都至关重要。然而长期以来,高昂的成本、复杂的部署流程以及系统扩容困难,始终制约着监测技术的大规模推广。为此,《The Leading Edge》期刊于2026年第6期推出专题,旨在探索突破上述瓶颈的创新方案,助力能源行业能够更广泛地应用高性能监测技术。

在油气领域,老油田、边际资产及偏远区块普遍面临严苛的成本压力,传统监测系统因依赖高端仪器设备、大规模布线和专用通信架构,在实际落地中往往难以推行。由此导致地层数据监测长期存在盲区,并造成生产效益下滑、设备停机频发及作业风险上升等问题。近年来,低成本传感技术、无线通信网络和边缘计算平台的问世,正彻底改变这一局面。经济实用、易于规模化部署且能耗较低的监测方案,使运营商能够将数字化能力延伸至此前监测薄弱的资产区域,充分挖掘既有基础设施的潜在价值。

与此同时,全球清洁可持续能源体系建设正在加速推进,带动了各类新兴能源产业的快速发展。这些能源系统通常布局分散、地域跨度广、技术路线多元,带来了独特的监测难题。例如,光伏和风电场等可再生能源设施需在大范围区域内布设分布式传感设备,而氢能生产和碳捕集装置则对工艺流程和排放监控提出了更高精度要求。在多数情况下,监测方案需在性能与成本之间取得平衡,方能保障项目的经济可行性。因此,低成本监测技术不仅是推动新兴能源规模化落地的关键,也成为保障其长期稳定运行的重要支撑。

近年来,微电子技术、微型传感器、物联网以及数据分析技术的持续进步,大幅降低了监测系统的应用门槛。标准化的现成组件、开源技术平台及云端架构,使行业能够低成本获取专业级数据采集与分析工具。同时,人工智能与机器学习技术的融合,进一步提升了监测数据的利用价值,可实现预测性维护、异常工况识别和智能优化决策,且无需高额配套基础设施投入。

在美国米德兰盆地的一个现场试验中,混合光纤监测方案得到了成功验证。该方案融合了分布式声波传感(DAS)及光纤布拉格光栅(FBG)多分量传感器,并以地面线性振动器作为低成本永久震源备选设备。试验结果显示,这套系统可有效采集宽频地震数据,微地震事件识别可靠性可媲美传统检波器阵列,同时具备结构简化、无需井下电子器件、设备体积更小及部署便捷等优势,能够显著降低安装与运维成本。

聚焦式地震监测技术作为传统4D地震成像的低成本、高频次替代方案,可应用于碳捕集与封存(CCS)项目。该技术无需反复采集全油藏范围地震图像,而是依托现有地震数据与预测模型,筛选少量高价值地下监测点位,搭配优化后的震源-接收设备组合,实现高频次、规模化和经济可持续的地层监测。

在二氧化碳压裂作业中,结合分布式声波传感(DAS)技术,可在无需传统检波器阵列或专用监测井的前提下,有效监测裂缝扩展过程。该方法成本较低,便于规模化应用,不仅能够有效评估储层改造效果,还可提供微震事件演化规律和裂缝长度等具备工程参考价值的数据。

此外,时移重力监测与海底形变监测可作为4D地震监测的低成本替代或补充手段,应用于油藏动态监测与碳封存项目。通过重复测量重力变化与海底位移,该技术可直接反映地下的地层质量重新分布及地层压力变化,精准追踪流体运移与油藏演化动态。

大力发展可靠且经济的监测技术,不仅能够提升能源项目运营效率与作业安全水平,更能助力行业实现可持续发展、增强能源系统抗风险能力并推进能源转型的宏观目标。

《石油与天然气地质》第一届青年编辑委员会

7 编辑部对来稿文字、形式有修改权,若不同意,可事先声明。来稿一经刊用,编辑部即自动默认论文作者自愿将其拥有的对该论文的汇编权(论文的部分或全部)、翻译权、印刷版和电子版的复制权、网络传播权和发行权转让给编辑部。编辑部将按规定付酬(稿酬含电子版与网络版),并赠送样刊2册。

(按姓氏笔画为序)

马义权	王 飞	王东东	王朋飞	王海涛	王 锐	王濡岳	尹 帅	石巨业	石军太
卢朝进	田 飞	田 巍	由雪莲	白玉彬	白 斌	印森林	冯 程	曲 海	朱晓军
乔俊程	伏海蛟	任大忠	刘 宁	刘君龙	刘宗堡	刘强虎	江青春	孙平昌	孙永河
孙娇鹏	孙晓飞	严德天	李王鹏	李开开	李文镖	李平平	李 华	李 庆	李 军
李 昂	李 威	李 涤	李 鹏	杨 帅	杨 田	杨 威	杨 鹏	时 贤	吴小奇
吴 冬	吴 伟	吴 辉	何佑伟	余 烨	沈 骋	宋兆杰	宋金民	宋泽章	宋董军
迟焕鹏	张凤奇	张 伟	张自力	张松航	张春林	张宪国	张 益	陆扬博	陈君青
陈治军	陈贺贺	陈 浩	陈朝兵	陈 雷	范昌育	范柏江	卓海腾	罗佳顺	孟艳军
胡晨林	袁红旗	聂仁仕	徐敬领	高 平	谈明轩	黄林军	黄涵宇	黄 雷	曹 锐
常 健	梁 超	韩双彪	赖 锦	路俊刚	鲍 园	廉培庆	窦祥骥	褚洪杨	管全中
潘树林	薛雅娟								