一、项目名称

油气生产系统水合物在线监测预警关键技术及应用

二、拟提名奖种

中国发明协会发明创业奖成果奖

三、等级

二等奖

四、完成单位

常州大学、齐鲁理工学院

五、完成人

吕晓方、杜晖、于雅琳、柳扬、乔元明、王传硕

六、项目简介

油气多相体系管道输送过程中的水合物流动安全问题，是全球油气资源高效开发面临的重大挑战之一。建立经济、合理、安全的水合物风险防控与监测预警技术体系，对于保障我国陆地与海洋油气资源安全开发、支撑油气管道高效稳定运行，具有重要战略意义。本项目在国家自然科学基金、国家科技重大专项和省部级项目支持下，历经五年，围绕油气多相体系中水合物“生成—分解—流动—堵塞”全过程的关键科学与工程问题，开展系统研究，形成了多项技术突破，构建了理论—技术—装置—应用一体化的集成创新体系，取得了以下三方面主要科技成果：

1. **针对油气多相体系水合物生成-分解完整周期内的动态预警与监测的世界性难题，**本项目提出适用于多相混输条件的水合物诱导期判识方法，构建耦合颗粒形貌与界面演化动力学模型，开发了融合数据驱动与机理驱动的人工智能预测系统，实现了水合物动态生成过程的超前预警。

★关键技术指标：

* 诱导期判识准确率≥95%；
* 监测预警系统准确率≥98%，可实现超前10–30分钟预警；
* 适用于温度273–295 K、压力5–30 MPa等复杂工况。
1. **针对油气多相体系管道水合物流动风险量化难、机理不清楚的问题，**项目自主研制了显微力学测试装置，首次定量获得多相体系中水合物颗粒的黏聚力与黏附力，揭示其生长形貌及液桥演化机理；建立考虑粒径分布、多相作用及剪切破碎行为的浆体黏度预测模型，明确湍流动能、颗粒浓度等因素对流动特性的影响规律。
★关键技术指标：
* 浆体黏度预测误差≤±10%；
* 沿程摩阻损失预测精度≥92%；
* 注剂用量优化效率提升≥30%，年均节约成本超1000万元。
1. **针对油气多相体系水合物固相沉积堵塞位置难确定、堵塞事故难处理的问题，**查明了多相体系中颗粒与管壁黏附-沉积机理，建立堵塞类型识别模型及风险量化指标，提出分区分型调控策略。研制具备温控、电热、化学与扰动多功能的水合物解堵装置，显著提升堵塞应急处置能力。
★关键技术指标：
* 风险识别准确率≥97%，堵塞位置误差<1.0 m；
* 解堵效率提升1倍以上，平均处理时间缩短50%；
* 系统适用于5–25 MPa、0–25 °C复杂运行环境。

项目整体呈现“理论—技术—装置—应用”的集成创新路径，经中国石油和化学工业联合会、中国石化科技部、中国石油和化工自动化应用协会鉴定，整体技术水平达到国际领先和先进。成果共申请发明专利27项，授权15项，出版专著2部，发表高水平论文48篇（含SCI论文33篇）。相关技术已在我国海上、西南、西北等多个油气田成功应用，近三年累计降本增效2.91亿元，显著提升了我国油气管道的本质安全水平与经济运行能力，具有广阔的推广前景和重要的社会经济价值。