

国家市场监督管理总局科技计划项目

任 务 书

项 目 编 号: 2025MK067

项 目 名 称: 聚乙烯燃气管道微泄漏智能声学内检测技术
与装备研究

专 业 类 别: 特种设备安全监管

项目推荐单位: 安徽省市场监督管理局

项目申报单位: 安徽省特种设备检测院

执 行 期 限: 2025-12-31~2027-12-31

项目负责人: 刘鹏

填 报 日 期: 2025 年 12 月 08 日



填报说明

一、任务书的内容将作为项目评审、管理、验收的重要依据，任务书的各项填报内容须实事求是、准确完整、层次清晰。

二、任务书通过市场监管总局科技管理信息系统在线填报。任务书中标题统一用黑体四号字，正文部分统一用宋体小四号字填写。正文（包括标题）行距为 1.5 倍。凡不填写的内容，请用“无”表示。外来语要同时用原文和中文表达，第一次出现的缩略词，须注明全称。

三、任务书中的单位名称，请填写全称，并与单位公章一致。

四、承担单位完成在线任务书的填写，提交推荐单位审核确认后，用 A4 纸在线打印、装订、签章。一式 4 份，报总局科技财务司签章，其中总局科技财务司留存 1 份，项目推荐单位、项目承担单位、项目负责人各 1 份。

五、《项目建议书》是本任务书填报的重要依据，任务书填报不得降低考核指标，不得自行对主要研究内容作大的调整。

一、项目基本情况

项目编号	2025MK067		项目年度	2025	
项目名称	聚乙烯燃气管道微泄漏智能声学内检测技术与装备研究				
专业类别	特种设备安全监管				
推荐单位	单位名称	安徽省市场监督管理局			
	联系人	汪正学	联系电话	0551-63356092	
承担单位	单位名称	安徽省特种设备检测院			
	统一社会信用代码	12340000760819019K			
	联系人	刘红晓	联系电话	0551-63356576	
	通讯地址	安徽省合肥市包河区大连路 45 号		邮政编码	230051
	单位性质	<input type="checkbox"/> 事业型研究单位 <input type="checkbox"/> 大专院校 <input checked="" type="checkbox"/> 其他事业单位 <input type="checkbox"/> 社会团体 <input type="checkbox"/> 企业 <input type="checkbox"/> 其他			
项目主要参加单位					
序号	单位名称	单位性质	研究任务	研究经费	
1	安徽省特种设备检测院	其他事业单位	理论研究、样机加工与制作、成果推介	50	
2	常州大学	大专院校	理论研究、数值模拟、算法研究、样机研发	0	
3	中石化管道技术服务有限公司	企业	管道运行数据分析、需求分析、示范应用	0	
4	亳州新奥燃气有限公司	企业	需求分析、示范应用	0	
项目负责人	姓 名	刘鹏		性 别	<input checked="" type="checkbox"/> 男 <input type="checkbox"/> 女
	学 位	<input type="checkbox"/> 博士 <input checked="" type="checkbox"/> 硕士 <input type="checkbox"/> 学士 <input type="checkbox"/> 其他		出生日期	1981-05-24
	职 称	<input checked="" type="checkbox"/> 高级 <input type="checkbox"/> 中级 <input type="checkbox"/> 初级 <input type="checkbox"/> 其他		专 业	安全技术及工程
	证件类型	身份证号码	证件号码	230603198105242112	
	办公电话	0551-63356627	移动电话	15212797920	E-mail 88925548@qq.com
项目团队	17人。其中：		高级 9人，中级 3人，初级 4人，其他 1人；		

	博士 4 人，硕士 5 人，学士 7 人。		
起始时间	2025-12-31	终止时间	2027-12-31
创新类型	[<input checked="" type="checkbox"/>] 原始创新 [<input type="checkbox"/>] 集成创新 [<input type="checkbox"/>] 引进消化吸收再创新		
研究内容摘要	<p>随着我国城镇燃气管网规模持续扩大，因管道老化、第三方破坏及地质灾害等导致的燃气泄漏事故频发，严重威胁公共安全。当前泄漏检测技术与设备存在明显不足，尤其对聚乙烯（PE）管材适应性低、复杂工况耐受性差、微泄漏识别能力弱，难以满足管网安全需求。为此，本项目研制适用于聚乙烯管道微泄漏智能声学内检测装备，重点攻克微泄漏机理复杂、强噪声干扰、信号量化表征与精确定位等关键技术。通过引入智能声信号分离与识别算法、构建微泄漏声学量化模型及高精度定位技术，实现微泄漏的智能辨识、泄漏量精确评估与泄漏点精准定位。本研究旨在形成一套高效、精准且工程适用性强的声学内检测装备与方法体系，为提升燃气管网安全提供技术支撑。</p>		
考核指标	<p>1. 计量基标准装置 0 台/套，标准物质 0 种，计量检定规程 0 个，计量技术规范 0 个；</p> <p>2. 技术标准 0 项，其中国际标准 0 项，国家标准 0 项，行业标准 0 项，地方标准 0 项，企业标准 0 项，团体标准 0 项；标准样品 0 个；</p> <p>3. 新产品 0 个，新工艺 0 项，新方法 1 项，新装置 1 台/套；</p> <p>4. 专利 4 项，其中发明专利 4 项，实用新型专利 0 项；</p> <p>5. 计算机软件著作权 1 项；</p> <p>6. 论文 2 篇，论著 0 部；</p> <p>7. 研究报告 1 项；</p> <p>8. 其他：无。</p>		
经费预算	总计经费 50.0000 万元，其中专项经费 0.0000 万元，自筹经费 50.0000 万元。		

二、项目目标、成果及考核指标

（一）项目目标和成果

1.项目研发目标

本项目聚焦于城镇燃气非金属管道不开挖检测评价与安全智能预警技术研究，其核心目标在于攻克聚乙烯燃气管道微泄漏难以有效检测的行业共性难题。针对此技术瓶颈，本项目将研制一种本质安全型防爆管道内检测器作为核心攻关方向。该装备需兼具高通过性、高精度检测及运行稳定性等关键性能。基于上述性能保障，该装备将能够在复杂工业噪声环境中，实现对聚乙烯燃气管道微泄漏状态的智能识别、泄漏量的高精度定量诊断以及微泄漏位置的精确定位。

2.拟突破关键技术

- （1）克服微泄漏声信号近场有效捕捉的瓶颈。
- （2）解决强背景噪声下微弱泄漏信号可靠识别的挑战。
- （3）突破微泄漏当量孔径高精度量化的技术局限。
- （4）攻克复杂管道环境中泄漏点定位精度的不足。

3.预期成果

项目申请发明专利 4 项；申请软件著作权 1 项；发表学术论文 2 篇；形成聚乙烯燃气管道微泄漏声学内检测技术与评价方法 1 项；研制聚乙烯燃气管道微泄漏声学内检测器样机 1 台；编制智能化分析软件 1 项；撰写项目研究报告 1 篇。

4.示范应用

鉴于项目研发设备当前处于工程样机阶段，其稳定性、环境适应性和成本控制等方面仍需在实际应用环境中进一步验证和优化，本项目拟开展小范围、特定场景下的示范应用，核心目标是获取真实环境数据、验证关键技术性能并收集用户反馈，为设备的最终工程化和商业化奠定坚实基础。

经过评估，项目选定在合作单位的聚乙烯燃气管道的安装现场进行示范。该场景能够有效体现设备的高通过性、泄漏状态智能识别和工程环境适应性，同时环境相对可控，便于数据采集和技术支持。本次示范应用是项目研发不可或缺的关键环节，其成果将直接指导设备样机的深度优化和后续工程化开发，显著降低未来大规模应用的技术风险。

（二）考核指标

1.考核指标:

(1) 研发聚乙烯燃气管道微泄漏智能声学内检测器样机一套, 适用管径 De200, 适用压力为 0.1~0.4MPa, 检测器的变形通过能力 $\leq 20\%De$, 可在 0.1MPa 运行压力下, 探测到最小泄漏当量孔径为 2mm;

(2) 开发声学内检测数据智能化分析评价软件一套, 具有自学习模式, 在强背景噪声环境下泄漏识别准确率 $\geq 95\%$; 泄漏点定位误差 $\leq 2De$ (2 倍的管道公称外径)。

2.知识产权:

申请发明专利 4 项; 申请软件著作权 1 项; 发表城镇燃气管道流场仿真、声场仿真、信号识别和智能评价等方面的研究论文 2 篇。

三、项目研究内容、方法及技术路线

(一) 项目的主要研究内容

1. 拟解决的关键问题、关键技术问题

本项目致力于城镇燃气非金属管道的不开挖检测评价与安全智能预警技术研究, 针对聚乙烯燃气管道微泄漏难以检测的行业瓶颈, 重点开展聚乙烯燃气管道智能声学内检测技术及装备的研发。通过本研究, 将着力解决现有检测设备对聚乙烯材料适应性不足、对复杂环境适应性较差以及对微泄漏检测能力有限等实际难题, 从而为实现大面积管网快速、全面检测提供技术支撑。

本项目实施过程中, 将致力于攻克 De200 聚乙烯燃气管道微泄漏声学检测中存在的泄漏发声机理复杂、强背景噪声混叠, 微泄漏的量化表征和泄漏点精准定位的四大核心难题, 具体包括:

- (1) 聚乙烯燃气管道微泄漏发声机理及声源特性研究
- (2) 强背景噪声下的泄漏声信号智能分离及识别算法研究
- (3) 基于泄漏声信号特征参量的微泄漏量化计算模型研究
- (4) 复杂噪声环境下泄漏声源高精度定位技术研究

2. 拟开展的主要研究内容

- (1) 聚乙烯燃气管道微泄漏近场声学传感阵列优化设计

基于气动声学理论建立微泄漏声源模型, 明确声压与泄漏孔径、气体压力及物性参数之间的关系; 结合声波导理论分析聚乙烯管道中声传播的多模态效应、

频散特性与衰减规律；通过流-声耦合数值仿真，构建不同泄漏工况下的声场数据集，指导传感器选型（灵敏度、频响特性）与阵列排布设计；重点开发适用于De200管径的三维波束形成拓扑阵列结构，依据声场三维分布特征，优化传感阵列的拓扑构型（如螺旋阵列、面阵）、阵元间距及布局位置，以最大化阵列增益和空间分辨率，增强对微弱泄漏信号的空间捕捉与信噪比提升能力，为实现后续精准泄漏量化和定位奠定基础。

（2）混叠噪声分离与泄漏识别算法研究

开发基于盲源分离（FastICA）与稀疏重构（L1范数约束）的混合去噪算法，抑制流体噪声与结构振动干扰；整合管道构件声纹特征与几何信息，构建干扰声事件判别机制；提取时域加权峭度、频域梅尔（Mel）谱特征及时频小波包能量熵等多域泄漏特征，通过注意力机制实现特征自适应融合，并采用极限梯度提升（XGBoost）与随机森林（RF）混合分类模型进行泄漏识别，目标检出率 $\geq 95\%$ 。

（3）复杂噪声环境下泄漏源高精度声学定位技术研究

研究适用于管道复杂环境的声源高精度定位算法。针对管内多反射、低信噪比的声传播特性，开发基于广义互相关-相位变换（GCC-PHAT）和声达时差（TDOA）原理的时延估计方法，提升时间差测量精度；研究声波在聚乙烯管道中的传播速度修正模型，补偿因温度、压力变化导致的声速漂移，减小系统误差；结合近场波束形成理论，融合声压幅度衰减信息，进一步提升定位算法的精度和鲁棒性；最终实现泄漏点的精准空间定位，目标定位误差 $\leq 2De$ 。

（4）泄漏孔径的高精度物理-数据融合反演模型研究

基于气动声学理论建立泄漏声压与泄漏孔径之间的物理映射关系，作为物理约束；从声信号中提取与泄漏量强相关的特征参量（如小波包带熵、谱峭度、均方根等）；构建以物理模型为先验知识、以数据特征为驱动的卷积神经网络-长短期记忆（CNN-LSTM）融合网络模型；通过迁移学习利用多场景数据增强模型的泛化能力，实现当量孔径不小于2mm的微泄漏的定量反演。

（5）聚乙烯燃气管道智能声学内检测器系统集成与实验测试

研制适用于聚乙烯管道的智能内检测器工程样机，集成高灵敏度声学传感阵列与多通道同步采集系统；自主研发基于电控泄流阀的主动速度控制系统，拟实现在1-5m/s速度区间，速度波动 $\leq 10\%$ ；创新设计柔性自适应变形检测机构，拟实现变形通过能力 $\leq 20\%De$ ；全模块采取本安型防爆设计，最大限度减小因检测

作业造成的风险；开展实验室模拟与工业现场测试，系统验证检测器在复杂工况下的综合性能，包括运行可靠性、结构通过性与泄漏检测精度。

3. 项目技术路线

本项目技术路线见下图所示。

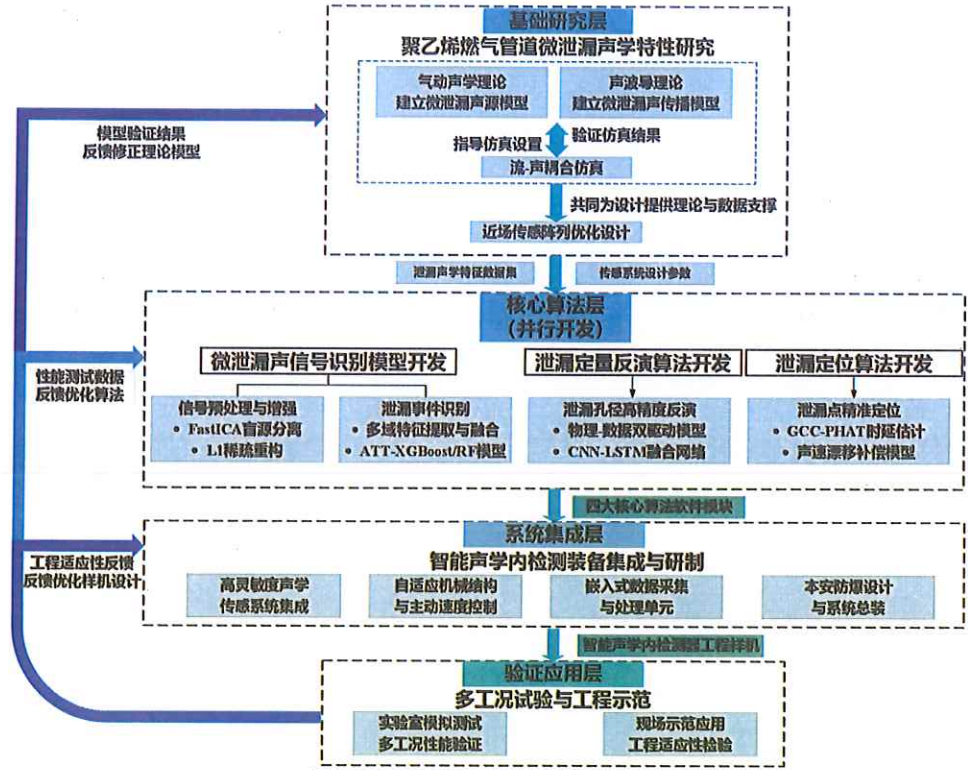


图 1. 本项目研究路线图

(二) 项目采取的研究方法

1. 针对项目研究拟解决的问题，拟采用的方法、原理、机理、算法、模型等

本项目面向聚乙烯燃气管道微泄漏检测的实际需求，采用理论建模、数值仿真、算法研发与装备研制紧密结合的技术路线，系统解决微泄漏声信号感知、识别、量化与定位难题。重点围绕高灵敏度声学传感、强噪声干扰下泄漏信号提取、泄漏量高精度反演及泄漏点精确定位等核心环节，开展以下研究：

声学传感方法与近场阵列设计：基于气动声学理论与声波导模型，建立泄漏声源强度与泄漏量、管内压力的物理关系；通过多工况流-声耦合仿真，构建声场分布数据集，指导传感器选型与三维拓扑阵列设计，提升对微弱泄漏信号的信噪比与空间分辨能力，为高精度泄漏定位奠定硬件基础；

信号处理与泄漏识别方法：采用 FastICA 盲源分离与 L1 稀疏重构算法抑制流体噪声与结构振动干扰；结合声纹特征库与管道拓扑信息排除非泄漏干扰事件；构建多域声学特征（时域峭度、Mel 谱畸变、小波包能量熵等），利用注意力机制加权融合，并依托 XGBoost-RF 混合分类模型实现泄漏事件的鲁棒识别；

泄漏量反演与精确定位方法：建立泄漏声-量物理映射模型作为物理约束，同时提取小波包带熵、谱峭度等数据特征；设计 CNN-LSTM 双通道融合网络，实现泄漏量的高精度反演。基于声达时差（Time Difference of Arrival, TDOA）原理和波束形成技术，结合多传感器信号互相关分析和声传播路径补偿算法，实现泄漏点的精确定位；

智能声学内检测器系统集成与验证方法：研制适用于聚乙烯管道的集成式声学检测装备，包括自适应弹性皮碗、电控泄流速度控制系统和柔性变形检测臂；开展实验室标定与现场测试，全面验证设备在复杂工况下的通过性、稳定性和检测精度，特别是泄漏识别、定量和定位的综合性能。

2. 项目研究方法（技术路线）的可行性、先进性分析

（1）可行性分析

项目团队具备扎实的研究基础和技术积累，依托安徽省压力管道安全工程研究中心等平台，拥有多工况实验管道系统、声学检测设备及数值仿真能力，可支持从理论建模、算法开发到装备测试的全流程研发。合作单位常州大学将提供现场试验条件与工程数据支持，有效降低技术开发风险。项目技术路线清晰，阶段目标明确，人员配置合理，具备较好的实施可行性。

（2）先进性分析

与现有技术相比，本项目提出的声学内检测方法具有显著优势：

更高的检测灵敏度：通过内置高灵敏度声学传感器阵列和近场优化设计，直接从管道内部采集信号，有效避免外部干扰和信号衰减，能够检测到泄漏当量孔径为 2mm 的微泄漏。

更精确的泄漏量测量：采用物理-数据双驱动泄漏量化模型，实现泄漏孔径的高精度反演（泄漏当量孔径 $\geq 2\text{mm}$ ）。

更精准的泄漏定位：基于 TDOA 原理和先进的信号处理算法，显著降低定位误差（ $\leq 2De$ ），较传统方法精度提升明显。

更强的抗干扰能力：结合盲源分离和稀疏重构算法，有效抑制复杂噪声环境下的干扰信号，提高信噪比和检测可靠性。

目前，针对聚乙烯燃气管道微泄漏的检测仍主要依赖于传统外检测技术，该类方法易受管道埋深、地质条件及环境噪声等多种因素制约，普遍存在检测盲区较大、信号衰减显著、定位精度有限以及微泄漏难以识别等问题。本项目所提出的声学内检测方法，利用声学传感器阵列直接采集泄漏信号，从而有效规避外部环境干扰，实现对泄漏事件的高精度识别与判别。本研究采用物理与数据双驱动泄漏量化模型、多传感器融合定位算法及三维拓扑阵列结构设计，在检测灵敏度、抗干扰性、泄漏定量评估精度与空间定位准确性等方面均显著优于外部检测技术，本研究成果有望填补国内在聚乙烯燃气管道微泄漏声学检测领域的研究与应用空白，为城镇燃气管网的安全运维提供新一代技术解决方案。

四、项目任务分解

（一）项目任务分解情况

本项目聚焦聚乙烯燃气管道微泄漏检测技术难题，以研制具有自主知识产权的智能声学内检测装备为目标，通过机理研究、算法开发、装备研制和工程验证的全链条创新，突破微泄漏检测中的传感、识别、定量和定位技术瓶颈。项目总体目标分解为六个相互关联且逻辑清晰的任务（技术路线如图 1 所示）：

任务 1（聚乙烯燃气管道微泄漏近场声学特性研究）由安徽省特种设备检测院和常州大学共同承担，重点突破微泄漏声学机理问题，为后续所有算法与装备开发提供理论模型与核心数据支撑；任务 2（混叠强背景噪声的微泄漏声信号识别模型开发）、任务 3（微泄漏量高精度定量反演算法开发）与任务 4（复杂环境下泄漏点精准定位算法开发）由常州大学牵头，三者并行开展，依托其在信号处理和人工智能领域的优势，分别攻克泄漏信号的智能识别、精确定量与精准定位算法；任务 5（聚乙烯燃气管道智能内检测器研制）由安徽省特种设备检测院负责，全面集成任务 1 的传感设计结论与任务 2、3、4 的核心算法模块，完成内检测器工程样机的设计与集成；任务 6（多工况试验验证与工程示范）由项目合作单位共同完成，通过构建试验平台与开展现场示范，全面验证并优化系统性能，推动技术成果的实用化与标准化。

各任务之间构成一个有机整体：任务 1 作为基础研究层，其输出是任务 2、3、4 三个核心算法层任务共同的理论与数据基础；任务 2、3、4 的算法成果并行输出，是任务 5 装备集成的软件核心；任务 5 研制的工程样机是任务 6 的测试对象；任务 6 不仅是对整个系统性能的终极检验，其产生的测试数据与工程反馈又将用于优化算法模型（任务 2、3、4）与样机设计（任务 5），形成闭环迭代，驱动技术持续完善。

（二）项目各任务内容

任务 1：聚乙烯燃气管道微泄漏近场声学特性研究

研究目标：揭示聚乙烯管道微泄漏声源产生机制与声传播规律，建立精确的声学模型，为传感阵列设计提供理论基础。

主要研究内容：基于气动声学理论，建立微泄漏喷流声源模型，量化声源强度与压差、孔径、气体物性的映射关系；结合声波导理论，解析声传播的截止频率、多模态混叠及衰减/对流效应机制；开展多工况流-声耦合数值模拟，构建“泄漏工况—声学特征”高维数据集；研究声场三维分布规律，指导传感器选型与阵列设计。

拟解决的关键技术：非金属管道内微泄漏发声机理、声波在多模态混叠下的传播衰减规律、适用于数值仿真的流-声耦合建模方法。

考核指标：建立微泄漏声源模型和声传播衰减修正模型各 1 套；完成适用于 De200 管道的声学传感器选型报告及三维拓扑阵列设计方案 1 份。

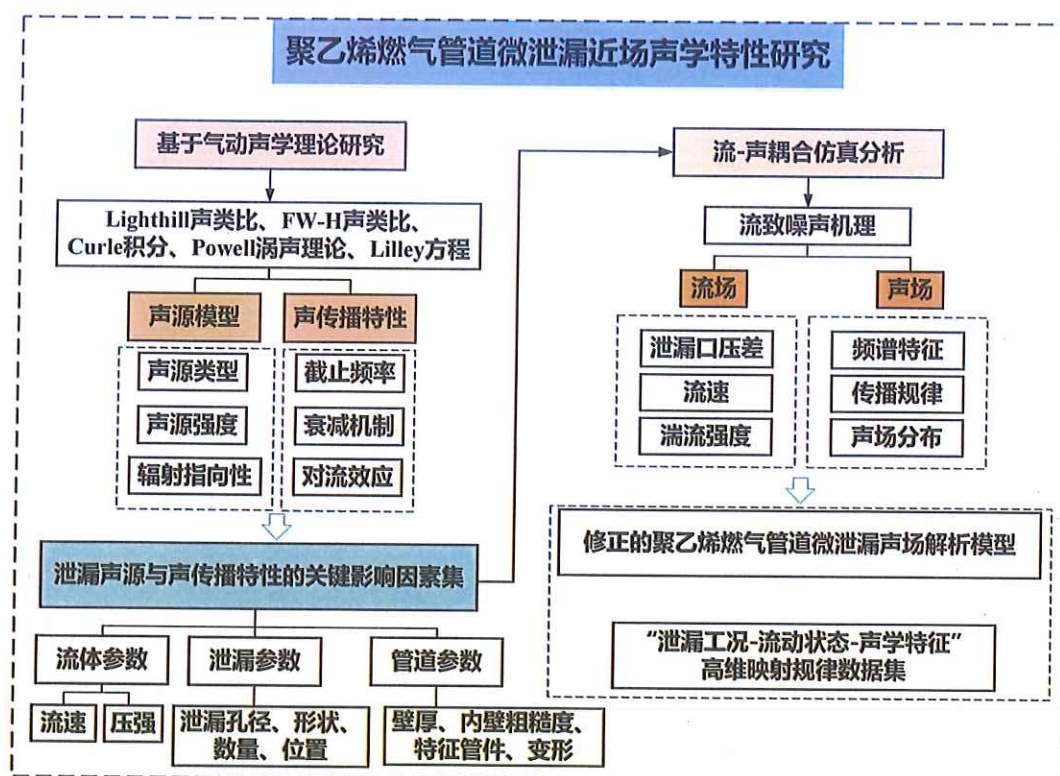


图 2.聚乙烯燃气管道微泄漏近场声学特性研究

任务 2：混叠强背景噪声的微泄漏声信号识别模型开发

研究目标：开发能够在强背景噪声下准确识别微泄漏信号的智能算法，解决信号淹没与误报问题。

主要研究内容：开发 FastICA 盲源分离算法分离泵阀振动、湍流噪声及环境噪声；结合管件声学特征库，动态关联空间位置与声学特征，排除干扰；采用 L1 范数约束稀疏重构增强微泄漏信号；构建时域、频域、时频域多域特征集，通过注意力机制加权融合后输入 XG Boost-RF 混合模型进行泄漏识别。

拟解决的关键技术：强背景噪声下的微弱信号分离技术、基于空间位置关联的干扰抑制技术、多域特征融合与高精度识别算法。

考核指标：在复杂噪声环境下，实现微泄漏检出率 $\geq 95\%$ ；形成泄漏识别算法软件模块 1 套。

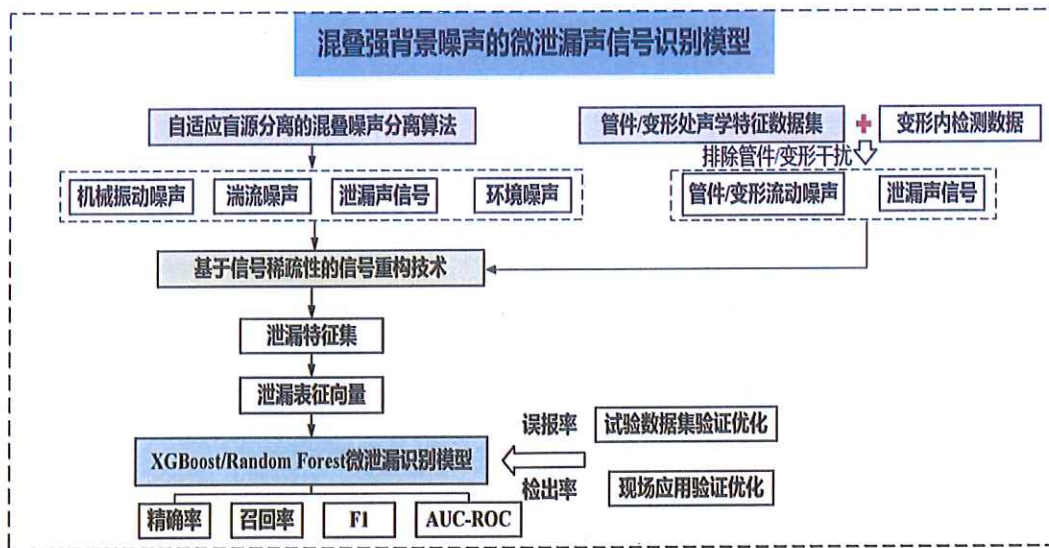


图 3.混叠强背景噪声的微泄漏声信号识别模型

任务 3：微泄漏孔径高精度定量反演算法开发

研究目标：建立物理机理与数据驱动融合的泄漏量化模型，实现微泄漏孔径的精确反演。

主要内容：基于修正声场解析模型建立泄漏孔径与声压级梯度的物理方程；从原始信号中提取小波包带熵、谱峭度峰值等数据特征；设计并行的物理特征与数据特征通道，形成联合特征向量输入 CNN-LSTM 混合网络训练；利用现场数据构建迁移学习样本库以增强模型泛化能力。

拟解决的关键技术：声压-泄漏孔径物理映射关系建模、物理机理与数据驱动特征融合技术、面向多工况的迁移学习泛化技术。

考核指标：泄漏当量孔径 $\geq 2\text{mm}$ 可反演；形成泄漏量化算法软件模块 1 套。

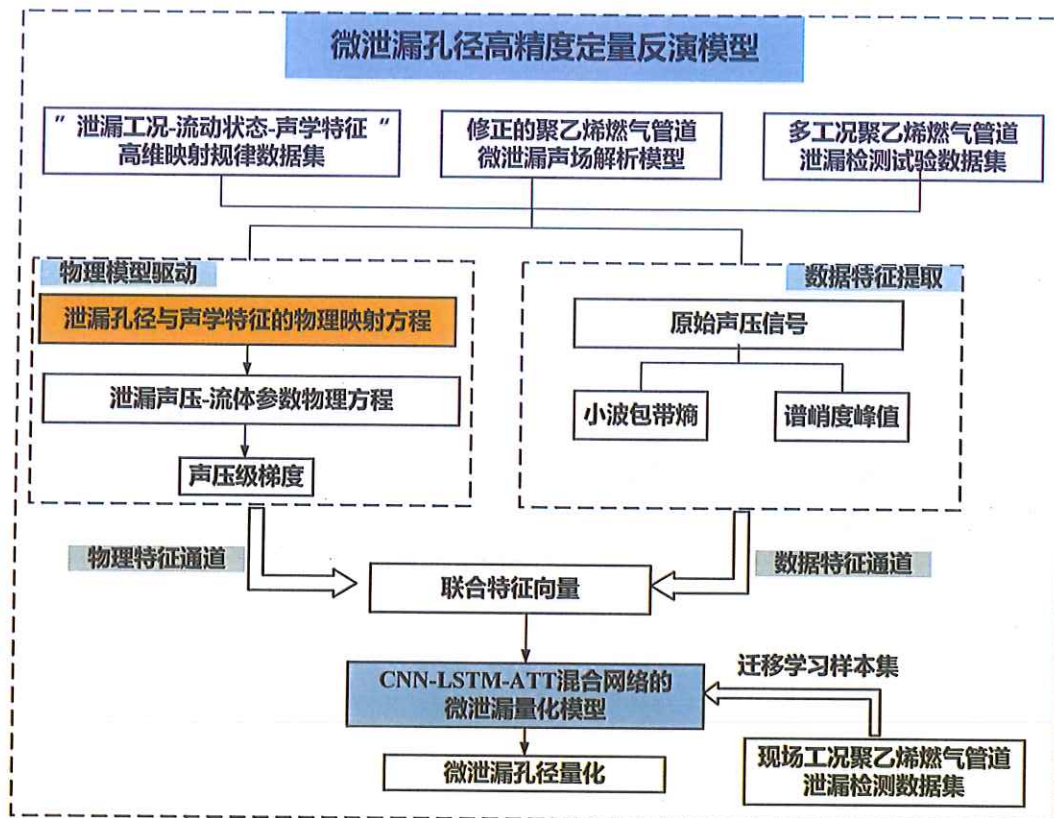


图 4.微泄漏孔径高精度定量反演模型

任务 4：复杂环境下泄漏点精准定位算法开发

研究目标：开发基于声学原理的泄漏点精确定位算法，为维修处置提供准确位置信息。

主要研究内容：研究基于声达时差（TDOA）原理的定位方法，解决多传感器间信号同步与高精度时间延迟估计问题；开发基于广义互相关-相位变换（GCC-PHAT）和波束形成技术的声源定位算法；建立声波在聚乙烯管道中的传播速度修正模型，补偿因温度、压力变化导致的声速漂移。

拟解决的关键技术：低信噪比环境下高精度时延估计技术、声波传播速度实时修正技术、多传感器阵列优化布局技术。

考核指标：泄漏点定位误差 $\leq 2De$ ；形成泄漏定位算法软件模块 1 套。

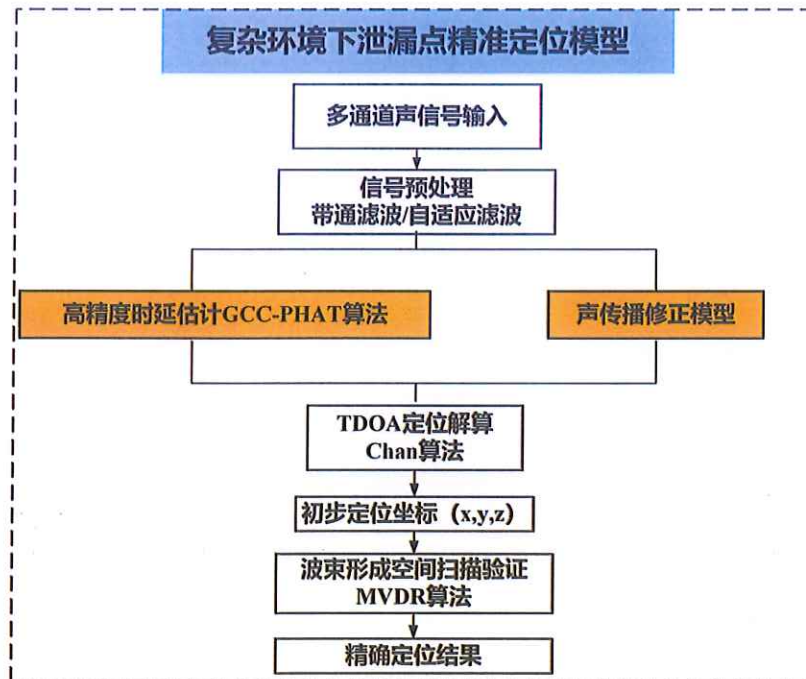


图 5. 复杂环境下泄漏点精准定位模型

任务 5：聚乙烯燃气管道智能内检测器研制

研究目标：集成前述研究成果，研制具有工程实用价值的智能内检测器样机。

主要研究内容：依据声源特性优化传感器选型（频响/灵敏度），研制三维拓扑测声阵列；采用自适应弹性皮碗无源驱动，集成电控泄流阀控速；设计皮碗嵌入式柔性变形检测臂；完成全模块本安型防爆设计。

拟解决的关键技术：适用于聚乙烯管道的内检测器结构设计、基于电控泄流阀的主动控速技术、本安防爆设计技术。

考核指标：研制工程样机 1 台，适用管径 De200，适用压力 0.1-0.4MPa，变形通过能力 $\leq 20\%De$ ；样机集成泄漏识别、定量、定位算法软件模块，具备检测 0.1MPa 压力下 2mm 泄漏孔的能力。

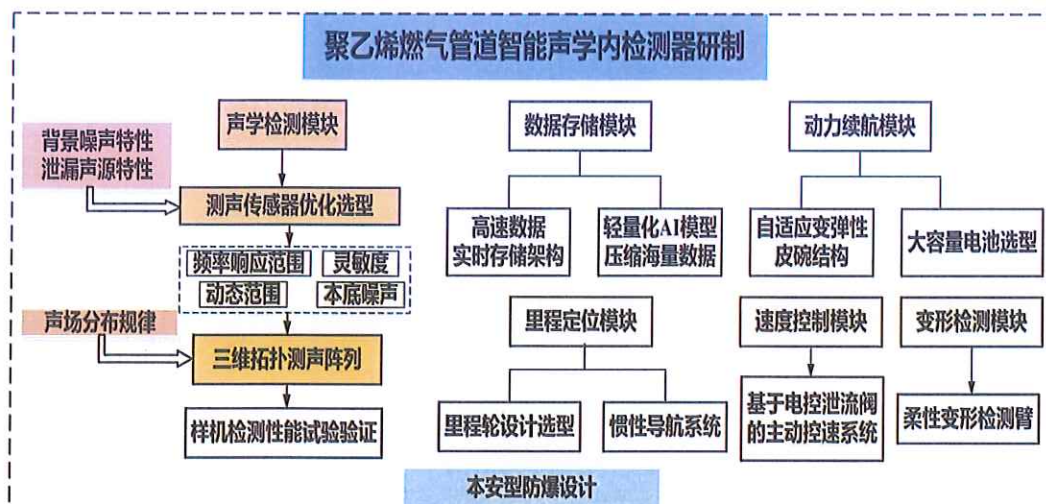


图 6. 聚乙烯燃气管道智能内检测器研制

任务 6：多工况试验验证与工程示范

研究目标：通过系统测试和工程示范验证装备性能，形成技术规范。

主要研究内容：构建多工况试验平台，开展实验室测试；选择典型管段进行现场示范应用；测试样机的泄漏检测、定量、定位性能；基于测试结果优化算法与装备设计。

拟解决的关键技术：多工况模拟测试技术、现场应用工艺技术、系统集成优化技术。

考核指标：完成试验测试报告 1 份，现场示范应用报告 1 份，编制聚乙烯燃气管道声学内检测及评价方法 1 项；在实验室及现场测试中，验证样机在 0.1MPa 压力下对 2mm 泄漏孔的检出率 $\geq 95\%$ 。

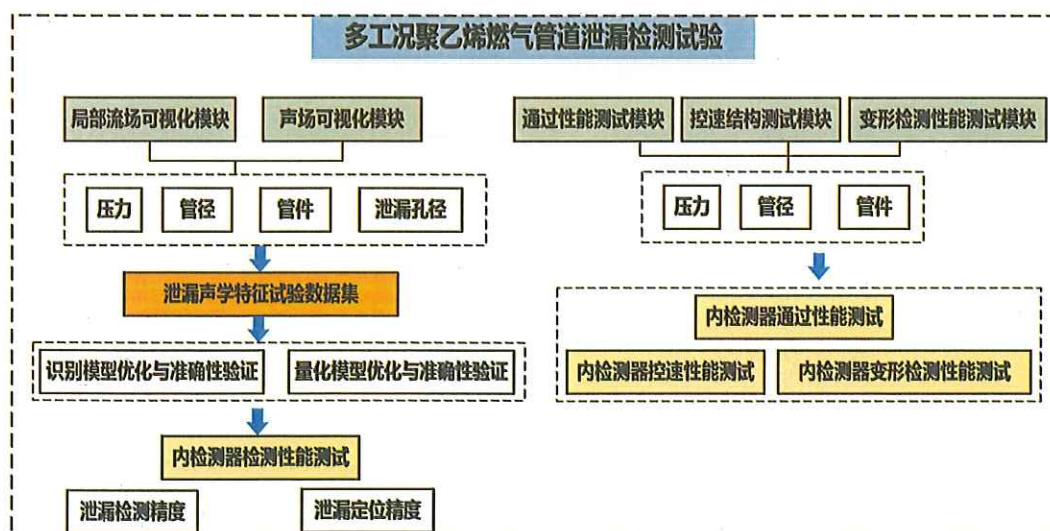


图 7. 多工况聚乙烯燃气管道泄漏检测试验平台

五、主要创新点

(1) 提出面向聚乙烯管道微泄漏声学特性的多尺度解析方法与自适应三维传感阵列设计方法。揭示了非金属管道内微泄漏声源的激励机理与多模态声传播衰减规律，建立了适配于聚乙烯管道近场声学特征的解析模型，并在此基础上，设计了具备自适应能力的三维拓扑声学传感阵列，该阵列通过空间选择性增强机制有效强化泄漏声场特征，从而显著提升对微弱泄漏信号的捕获效率与空间分辨能力。

(2) 提出了一种面向强背景噪声环境的微泄漏声信号识别与增强方法。该方法通过建立基于声源空间定位关联的声学特征自适应滤波机制，融合管道构件几何信息与背景噪声的时频分布特征，有效增强了弯头、局部变形区等多干扰工况下的微弱泄漏信号辨识能力与信噪比。在复杂工业噪声环境下，本方法仍可实现高于 95% 的泄漏事件识别率，显著提升了检测装备在恶劣条件下的鲁棒性与可靠性。

(3) 提出了一种基于物理机理与数据驱动相融合的微泄漏孔径高精度定量反演方法。通过构建声场解析模型与深度学习协同的混合建模框架，有效融合声波传播的物理约束与泄漏信号的深层特征，显著提升了模型在不同压力、流量及管道环境等多工况条件下的泛化能力。该方法能够稳定实现当量孔径不小于 2mm 的微泄漏的精确定量反演，突破了传统方法在低信噪比和小泄漏工况下精度不足的局限。

(4) 提出了一种面向复杂管道环境的泄漏点高精度声学定位方法。该方法基于到达时间差 (Time Difference of Arrival, TDOA) 定位原理，结合近场波束形成技术，构建了一种新型声学定位算法，并引入了声波传播速度自适应修正模型，从而在多重反射、低信噪比的复杂声学环境中实现了泄漏点的稳定、有效辨识与定位，定位误差小于 2 倍管径，显著提升了复杂工况下的检测可靠性与精度。

六、预期经济社会效益和推广应用情况

为攻克聚乙烯燃气管道微泄漏检测难题，本项目深度融合了声学理论突破、智能算法创新与高端装备制造，研发的聚乙烯燃气管道微泄漏智能声学内检测器。该装备的应用将有助于实现从被动检修向主动预警的安全管理模式转变，提升管网风险防控能力。在推广方面，可优先应用于重要区域、老旧管网和穿越段等高

风险管线的泄漏检测，为燃气企业提供管道状态评估与安全运维决策支持，提升管道安全管理水平。

在产业效益层面，该技术装备市场前景广阔。以安徽省为例，其燃气管道总里程已超 5 万公里。若采用本技术进行检测服务，按单次服务均价约 1 万元/公里估算，仅安徽省的潜在市场规模即超过 5 亿元。这充分体现了其巨大的商业转化潜力。更重要的是，该装备的应用将带来显著的社会效益。通过精准、及时的泄漏检测，可有效预防燃气泄漏事故（年均损失超亿元），大幅降低由此引发的公共安全应急成本，并最终为保障人民生命财产安全、推动“平安中国”建设提供强有力的技术支撑。

七、项目组织实施机制及保障措施

（一）项目组织实施机制

本项目严格实施项目的规范化、科学化管理，建立科学、合理的组织管理体系，建立、健全各项管理制度，以保证项目的顺利完成。建立项目组织单位与各参与单位共同构成的权责明晰的项目管理组织架构。

本项目的组织单位是安徽省特种设备检测研究院，课题参与单位为常州大学、中石化管道技术服务有限公司、亳州新奥燃气有限公司。在项目组织单位的统一领导下，课题参与单位各行其责，共同开展项目的研究、示范工作。组织单位负责项目的总体组织协调工作，根据项目建议的整体框架，组织编写项目可行性研究报告；组织签订任务书；组织项目的实施和监督检查，协调并处理项目执行过程中出现的有关问题。严格按照项目《任务书》的总体规划要求，落实项目各项任务，提供项目实施的配套条件和人员投入；接受有关管理部门的管理和监督，按要求汇总、报告项目执行情况，及时报告项目执行中出现的重大问题；组织实施课题验收。

课题参与单位主要职责为根据项目总体目标和技术路线的需要，严格按照任务书的具体要求开展课题的研究、示范工作，提供课题实施的配套条件和人员投入，接受有关管理部门和项目组织单位的管理和监督，按要求报告课题执行情况，及时报告课题执行中出现的重大问题。

（二）保障措施

本项目由主持单位安徽省特种设备检测院牵头，与常州大学联合组建产学研紧密结合的研发团队。团队现有高级职称 9 人、博士 4 人、硕士 5 人，专业背景覆盖声学传感、信号处理、机械电子、人工智能等领域，为项目提供坚实的技术和人才支撑。同时，组建 3~5 人的现场协调团队，负责内检测装备的现场安装与调试；设立 4~6 人的产业化推广团队，重点推进技术成果转化与应用推广。

项目实施过程中，双方建立季度例会机制，定期交流研究进展，协调解决关键技术问题，动态优化研发路线。实行项目人员流动与开放机制，保持团队活力与研究效率。为确保项目高质量推进，特制定以下保障措施：

(1) 成立以项目负责人为核心的技术攻关组，统筹声学内检测系统研制、算法开发与实验验证等关键任务，明确分工、责任到人，保障各项研发任务按计划推进。

(2) 安徽省特种设备检测院在项目组基础上增派 2~4 名技术骨干，专职负责管道工况数据采集、现场试验协调与示范应用推进，加强与合作单位的实地协作。

(3) 充分发挥安徽省特种设备标准化委员会的平台优势，依托其在承压类特种设备检测领域的规范制定与技术积累，为本项目提供标准支撑与专家资源，助力装备研发与工程应用。

八、知识产权对策、成果管理及分配

按项目承担单位与合作单位签订的“知识产权对策成果管理及分配协议”执行。

九、需要约定的其他内容

无。

十、项目参加人员基本情况表

序号	姓名	性别	出生日期	证件号码	职称	职务	学位	专业	在项目中的角色	工作单位
1	刘鹏	男	1981-05-24	230603198105242112	高工	主任	硕士	安全技术及工程	项目负责人	安徽省特种设备检测院
2	张颖	男	1972-12-09	230602197212095735	教授	主任	博士	安全工程	任务负责人	常州大学
3	燕振君	男	1991-06-06	341621199106065510	工程师	无	硕士	材料加工工程	项目骨干	安徽省特种设备检测院
4	李卫	男	1986-08-24	341227198608246110	工程师	无	学士	材料成型及控制工程	项目骨干	安徽省特种设备检测院
5	林浩烨	男	1999-12-13	350722199912130930	无	无	硕士	安全工程	项目骨干	常州大学
6	程浩	男	1983-09-01	342601198309018037	正高	主任	硕士	材料工程	任务负责人	安徽省特种设备检测院
7	张海涛	男	1988-12-01	340103198812013034	高工	无	博士	动力工程和工程热物理	项目骨干	安徽省特种设备检测院
8	张青斌	男	1981-08-20	220524198108200473	高工	无	博士	测试计量技术及仪器	项目骨干	安徽省特种设备检测院
9	周发威	男	1990-02-17	342401199002175672	讲师	无	博士	过程装备与控制	项目骨干	常州大学
10	王泽浩	男	1971-02-04	370502197102044414	高工	总经理	学士	检验检测	任务负责人	中石化管道技术服务有限公司
11	刘瑾	女	1984-05-03	14062419840503004X	高工	科研主管	硕士	检验检测	项目骨干	中石化管道技术服务有限公司

12	李秀芹	女	1972-03-03	372926197203038640	高工	公司专家	学士	检验检测	项目骨干	中石化管道技术服务有限公司
13	李耀明	男	1985-06-02	230606198506024414	高工	部门经理	学士	检验检测	项目骨干	中石化管道技术服务有限公司
14	王振	男	1985-12-19	341281198512198730	助工	运营部主任	无	计算机应用	项目骨干	亳州新奥燃气有限公司
15	孙修标	男	1990-05-10	341602199005108973	助工	运营部副主任	学士	建筑环境与设备工程	其他研究人员	亳州新奥燃气有限公司
16	国彬彬	男	1990-11-02	341281199011029159	助工	无	学士	电气工程及其自动化	其他研究人员	亳州新奥燃气有限公司
17	杜豪	男	1987-10-01	341623198710015753	助工	项目经理	学士	土木工程	其他研究人员	亳州新奥燃气有限公司

注：在项目中角色包括：项目负责人、任务负责人、项目骨干、其他研究人员。

十一、经费预算（万元）

序号	经费支出科目	金额	计算根据及理由
1	设备费	10.0000	用于购置数据采集单元、数据控制单元、数据存储单元、数据供电单元等设备。
2	材料费	8.0000	用于购置聚乙烯管道试验装置的相关材料。
3	测试化验加工费	20.0000	用于聚乙烯燃气管道泄漏试验平台搭建和聚乙烯燃气管道泄漏智能检测器组装测试。
4	会议/差旅费	2.6000	用于项目调研和试验差旅费用。
5	出版/文献/信息传播/知识产权事务费	6.0000	主要用于发表论文、申请专利等费用。
6	劳务费	2.4000	用于支付参加项目研究的研究生、博士后、访问学者以及项目聘用的研究人员、科研辅助人员等的劳务性费用。
7	专家咨询费	1.0000	在项目实施过程中支付给临时聘请的咨询专家的费用。
8	其它费用	0.0000	无。
	总计：	50.0000	

注：1. 设备费：在项目实施过程中购置或试制专用仪器设备，对现有仪器设备进行升级改造，以及租赁外单位仪器设备而发生的费用。要严格控制设备购置费支出。

2. 材料费：在项目（课题）实施过程中消耗的各种原材料、辅助材料、低值易耗品等的采购及运输、装卸、整理等费用。

3. 测试化验加工费：在项目实施过程中支付给外单位（包括承担单位内部独立经济核算单位）的检验、测试、化验及加工等费用。

4. 会议/差旅费：召开学术研讨、咨询以及协调等发生的会议费用。开展科学实验、科学考察、调研、学术交流等所发生的外埠差旅费、市内交通费用等。

5. 出版/文献/信息传播/知识产权事务费：在项目实施过程中，需要支付的出版费、资料费、专用软件购买费、文献检索费、查新费、专业通信费、专利申请及其他知识产权事务等费用。

6. 劳务费：在项目实施过程中支付给参与项目的研究生、博士后、访问学者以及项目聘用的研究人员、科研辅助人员等的劳务性费用。

7. 专家咨询费：在项目实施过程中支付给临时聘请的咨询专家的费用。

8. 其它费用：用于项目管理、税费等经费支出。

自筹或配套经费证明

安徽省特种设备检测院（单位全称）为项目聚乙烯燃气管道微泄漏智能声学内检测技术与装备研究（项目编号：2025MK067），提供50万元配套资金，资金来源为自筹。

特此证明！

出资单位（公章）：



2025 年 12 月 2 日

2025 年市场监管总局科技计划项目
“聚乙烯燃气管道微泄漏智能声学内检测技术与装备研究”
合作协议

甲方（项目申报单位）：安徽省特种设备检测院

乙方（项目合作单位）：常州大学

经甲、乙各方友好协商，就联合承担 2025 年市场监管总局科技计划项目“聚乙烯燃气管道微泄漏智能声学内检测技术与装备研究”项目签订以下合作协议（以下简称本协议）。

一、合作研发内容

本项目针对聚乙烯燃气管道（De90~De200，工作压力 0.1~0.4 MPa）微泄漏难以有效检测的行业共性难题。研究旨在突破微泄漏近场声学传感阵列优化设计技术、混叠强背景噪声的微泄漏声信号识别模型构建，以及基于物理机理约束的微泄漏量化模型建立等关键问题。基于上述核心技术突破，本项目将研制一种本安型防爆管道内检测器。该检测器具备高通过性、高检测精度及运行稳定性，能够同步实现管道变形与泄漏的一体化检测。实现在复杂工业噪声环境中，对聚乙烯燃气管道微泄漏状态的高置信度识别、泄漏孔径的高精度定量诊断以及管道变形量的精确测量，为显著提升燃气管网运输安全保障能力提供重要技术支撑。

合作时间：2025 年 8 月至 2027 年 8 月

二、联合单位具体工作内容及分工：

甲方责任及分工：

安徽省特种设备检测院为项目承担单位，主要负责：1. 统筹组织项目实施；2. 参与近场声学理论研究；3. 参与聚乙烯燃气管道微泄漏智能声学内检测器的研发；4. 统筹产业化应用示范工作。

乙方责任及分工：

常州大学为合作单位，主要负责：1. 近场声学理论研究；2. 声场数值模拟；3. 管道泄漏量测量算法研究 4. 聚乙烯燃气管道微泄漏智能声学内检测器样机的组装。

三、经费与预算

项目总经费 50 万元，为甲方自筹经费。

四、知识产权的保护和归属

根据国家相关法律法规的规定，项目承担单位与项目合作单位之间本着相互合作的精神，就项目申请和执行过程中涉及的知识产权达

成如下协议：

承担单位与合作单位在本项目任务书正式签署日之前各自所获得的知识产权及相应权益均归各自所有，不因共同申请和完成本项目而改变。

在项目执行过程中，各方应对项目执行过程中产生的科技成果按下列方式及时采取知识产权保护措施：

在本项目执行过程中产生的知识产权，双方合作共同研究的部分，归双方共有，并作为专有技术处理，任何一方均有权使用权，但未经另一方书面同意不得许可第三方使用，也不得单方申请专利保护；由甲方自行研究的部分归甲方所有，由乙方自行研究的部分归乙方所有。甲方原有的知识产权归甲方所有，乙方原有的知识产权归乙方所有。在项目执行期间，可在项目组范围内共享。

甲乙双方在本项目合作过程中产生的、独自所有的知识产权，在对外转让时，另一方享有优先购买权。本项目完成后的成果甲方如申报省科技奖，乙方应配合申报。

因申请本项目的需要，各方提供的相关信息，不构成向对方授予任何关于专利、著作权、商标权等知识产权的许可行为。

五、合作的生效、终止和仲裁

本协议一式四份，具有同等效力，甲乙各持两份，自甲乙双方签字并加盖合同专用章/公章之日起生效，项目结题验收通过后本协议终止。

甲方：安徽省特种设备检测院

单位公章：

法定代表人/委托代理人（签字）：

日期：



12
8-2025

乙方：常州大学

单位公章：

法定代表人/委托代理人（签字）：

日期：



马志军

2025 年市场监管总局科技计划项目
“聚乙烯燃气管道微泄漏智能声学内检测技术与装备研究”
合作协议

甲方（项目申报单位）：安徽省特种设备检测院

乙方（项目合作单位）：中石化管道技术服务有限公司

经甲、乙各方友好协商，就联合承担 2025 年市场监管总局科技计划项目“聚乙烯燃气管道微泄漏智能声学内检测技术与装备研究”项目签订以下合作协议（以下简称本协议）。

一、合作研发内容

本项目针对聚乙烯燃气管道（De90~De200，工作压力 0.1~0.4 MPa）微泄漏难以有效检测的行业共性难题。研究旨在突破微泄漏近场声学传感阵列优化设计技术、混叠强背景噪声的微泄漏声信号识别模型构建，以及基于物理机理约束的微泄漏量化模型建立等关键问题。基于上述核心技术突破，本项目将研制一种本安型防爆管道内检测器。该检测器具备高通过性、高检测精度及运行稳定性，能够同步实现管道变形与泄漏的一体化检测。实现在复杂工业噪声环境中，对聚乙烯燃气管道微泄漏状态的高置信度识别、泄漏孔径的高精度定量诊断以及管道变形量的精确测量，为显著提升燃气管网运输安全保障能力提供重要技术支撑。

合作时间：2025 年 8 月至 2027 年 8 月

二、联合单位具体工作内容及分工：

甲方责任及分工：

安徽省特种设备检测院为项目承担单位，主要负责：1. 统筹组织项目实施；2. 参与近场声学理论研究；3. 参与聚乙烯燃气管道微泄漏智能声学内检测器的研发；4. 统筹产业化应用示范工作。

乙方责任及分工：

中石化管道技术服务有限公司为合作单位，主要负责：1. 聚乙烯燃气管道运行数据的支持；2. 聚乙烯燃气管道微泄漏智能声学内检测器的现场测试；3. 配合产业化示范应用工作。

三、经费与预算

项目总经费 50 万元，为甲方自筹经费。

四、知识产权的保护和归属

根据国家相关法律法规的规定，项目承担单位与项目合作单位之间本着相互合作的精神，就项目申请和执行过程中涉及的知识产权达

成如下协议：

承担单位与合作单位在本项目任务书正式签署日之前各自所获得的知识产权及相应权益均归各自所有，不因共同申请和完成本项目而改变。

在项目执行过程中，各方应对项目执行过程中产生的科技成果按下列方式及时采取知识产权保护措施：

在本项目执行过程中产生的知识产权，双方合作共同研究的部分，归双方共有，并作为专有技术处理，任何一方均有权使用权，但未经另一方书面同意不得许可第三方使用，也不得单方申请专利保护；由甲方自行研究的部分归甲方所有，由乙方自行研究的部分归乙方所有。甲方原有的知识产权归甲方所有，乙方原有的知识产权归乙方所有。在项目执行期间，可在项目组范围内共享。

甲乙双方在本项目合作过程中产生的、独自所有的知识产权，在对外转让时，另一方享有优先购买权。本项目完成后的成果甲方如申报省科技奖，乙方应配合申报。

因申请本项目的需要，各方提供的相关信息，不构成向对方授予任何关于专利、著作权、商标权等知识产权的许可行为。

五、合作的生效、终止和仲裁

本协议一式四份，具有同等效力，甲乙各持两份，自甲乙双方签字并加盖合同专用章/公章之日起生效，项目结题验收通过后本协议终止。

甲方：安徽省特种设备检测院

单位公章：

法定代表人/委托代理人（签字）：

日期：

乙方：中石化管道技术服务有限公司

单位公章：

法定代表人/委托代理人（签字）：

日期：



Handwritten signature and date: 8-20-2015



Handwritten signature: 王泽光

2025 年市场监管总局科技计划项目
“聚乙烯燃气管道微泄漏智能声学内检测技术与装备研究”
合作协议

甲方（项目申报单位）：安徽省特种设备检测院

乙方（项目合作单位）：亳州新奥燃气有限公司

经甲、乙各方友好协商，就联合承担 2025 年市场监管总局科技计划项目“聚乙烯燃气管道微泄漏智能声学内检测技术与装备研究”项目签订以下合作协议（以下简称本协议）。

一、合作研发内容

本项目针对聚乙烯燃气管道（De90~De200，工作压力 0.1~0.4 MPa）微泄漏难以有效检测的行业共性难题。研究旨在突破微泄漏近场声学传感阵列优化设计技术、混叠强背景噪声的微泄漏声信号识别模型构建，以及基于物理机理约束的微泄漏量化模型建立等关键问题。基于上述核心技术突破，本项目将研制一种本安型防爆管道内检测器。该检测器具备高通过性、高检测精度及运行稳定性，能够同步实现管道变形与泄漏的一体化检测。实现在复杂工业噪声环境中，对聚乙烯燃气管道微泄漏状态的高置信度识别、泄漏孔径的高精度定量诊断以及管道变形量的精确测量，为显著提升燃气管网运输安全保障能力提供重要技术支撑。

合作时间：2025 年 8 月至 2027 年 8 月

二、联合单位具体工作内容及分工：

甲方责任及分工：

安徽省特种设备检测院为项目承担单位，主要负责：1. 统筹组织项目实施；2. 参与近场声学理论研究；3. 参与聚乙烯燃气管道微泄漏智能声学内检测器的研发；4. 统筹产业化应用示范工作。

乙方责任及分工：

亳州新奥燃气有限公司为合作单位，主要负责：1. 聚乙烯燃气管道运行数据的支持；2. 聚乙烯燃气管道微泄漏智能声学内检测器的现场测试；3. 配合产业化示范应用工作。

三、经费与预算

项目总经费 50 万元，为甲方自筹经费。

四、知识产权的保护和归属

根据国家相关法律法规的规定，项目承担单位与项目合作单位之间本着相互合作的精神，就项目申请和执行过程中涉及的知识产权达

成如下协议：

承担单位与合作单位在本项目任务书正式签署日之前各自所获得的知识产权及相应权益均归各自所有，不因共同申请和完成本项目而改变。

在项目执行过程中，各方应对项目执行过程中产生的科技成果按下列方式及时采取知识产权保护措施：

在本项目执行过程中产生的知识产权，双方合作共同研究的部分，归双方共有，并作为专有技术处理，任何一方均有权使用权，但未经另一方书面同意不得许可第三方使用，也不得单方申请专利保护；由甲方自行研究的部分归甲方所有，由乙方自行研究的部分归乙方所有。甲方原有的知识产权归甲方所有，乙方原有的知识产权归乙方所有。在项目执行期间，可在项目组范围内共享。

甲乙双方在本项目合作过程中产生的、独自所有的知识产权，在对外转让时，另一方享有优先购买权。本项目完成后的成果甲方如申报省科技奖，乙方应配合申报。

因申请本项目的需要，各方提供的相关信息，不构成向对方授予任何关于专利、著作权、商标权等知识产权的许可行为。

五、合作的生效、终止和仲裁

本协议一式四份，具有同等效力，甲乙各持两份，自甲乙双方签字并加盖合同专用章/公章之日起生效，项目结题验收通过后本协议终止。

甲方：安徽省特种设备检测院

单位公章：

法定代表人/委托代理人（签字）：

日期：

乙方：亳州新奥燃气有限公司

单位公章：

法定代表人/委托代理人（签字）：

日期：

十三、任务书签署

项目承担单位意见：

我单位已知悉《聚乙烯燃气管道微泄漏智能声学内检测技术与装备研究》项目获得立项，保证按照《国家市场监督管理总局科技计划项目管理办法》规定，认真做好项目实施管理，落实项目自筹或配套经费、工作条件和其它资源保障，确保项目研究按本任务书的约定按时保质完成。

单位负责人：



项目推荐单位意见：

我单位已知悉《聚乙烯燃气管道微泄漏智能声学内检测技术与装备研究》项目获得立项，保证按照《国家市场监督管理总局科技计划项目管理办法》规定，认真做好项目监督管理，推动落实项目自筹或配套经费、工作条件和其它资源保障，确保项目研究按本任务书的约定按时保质完成。



市场监管总局科技主管部门意见：

同意立项。



Handwritten signature or initials in the upper right section of the page.

