

浅谈声波技术在燃气 PE 管道探测工程中的实践应用

张 坤 乔在朋（山东港华燃气集团有限公司，山东 济南 250014）

摘 要：本文深入探讨了声波技术在燃气 PE 管道探测工程中的实践应用。首先阐述了研究背景与意义，强调了在燃气输送中 PE 管道的重要地位以及传统探测方法的不足，凸显声波技术应用的迫切性。详细剖析了声波技术原理，包括声波传播基础理论和探测仪器工作机制，讲解了声波在燃气介质中的传播特性以及信号发射、接收与处理系统。接着通过多个工程案例，展示了声波技术在不同工况下燃气 PE 管道探测中的具体应用，如直埋管道、顶管和过河管道探测。还对探测结果的准确性与可靠性进行了验证，分析了影响声波探测效果的因素及应对策略。声波技术为燃气 PE 管道的精准探测提供了有力保障，确保管道安全稳定输出燃气，具有重要的实际应用价值。

关键词：声波技术；燃气 PE 管道；管道探测；传播特性；探测仪器；准确性验证；影响因素；管道输出

1 研究现状

在国外，声波技术于管道探测领域的应用起步较早，技术成熟度高，积累了丰富的实践经验。美国、德国等发达国家，凭借雄厚的科研实力与先进的技术手段，在声波发射、接收装置以及信号处理算法等方面持续创新。他们运用高精度的声波传感器，结合复杂环境下的自适应信号处理技术，能够精准探测各类复杂地质条件下的管道，定位精度可达厘米级，有效保障了城市管网的安全运行。

相较而言，我国声波技术在燃气 PE 管道探测工程中的应用虽起步稍晚，但近年来发展迅猛。随着国家对城市基础设施安全重视程度的不断提升，以及科研投入的持续增加，国内诸多科研机构与企业纷纷投身该领域研究。

管畅科技等一批先锋企业，成功研发出一系列具有自主知识产权的声波探测设备，如 GPPL 系列智能声波 PE 管道燃气定位仪，在国内多地燃气管道探测项目中广泛应用，逐渐打破国外技术垄断局面。然而，我国在声波技术应用方面仍面临一些挑战，如复杂地质条件下信号衰减问题、多管线密集区域的干扰识别等，亟待进一步攻克。

2 声波技术原理剖析

2.1 声波传播基础理论

燃气在管道内的流动状态对声波传输有着不可忽视的作用。当燃气处于稳定流动时，声波能够沿着气流方向较为顺畅地传播，犹如顺流而下的船只，能量损耗相对较小；然而，若燃气出现湍流现象，气流的无序运动会干扰声波的传播路径，导致声波能量分散、衰减加剧，就像船只在波涛汹涌的海面航行，面临更

多阻力与风险。

PE 管道材质自身具有一定的弹性和阻尼特性，这使得声波在其中传播时，部分能量会被管道材料吸收转化为热能等其他形式的能量，进而造成声波能量的衰减。而且，管道的接口、弯头、阀门等部位，由于结构的不连续性，声波在此处易发生反射、散射，使得传输至地面的声波信号强度发生变化，为后续的探测工作带来挑战。

2.2 声波探测仪器工作机制

当前，市场上主流的声波探测仪通常由信号发射系统、信号接收与处理系统等核心部分构成，各部分紧密协作，宛如人体的感官与神经系统，协同完成管道的探测任务。以管畅科技研发的燃气 PE 管道定位仪 GPPL 为例，其信号发射机连接音频驱动器，仿若“发声器官”，向燃气管道内发射特定频率的声波信号，该信号沿着管道内的天然气介质定向传播，犹如顺流而下的“信使”，途中部分声波穿透管壁、土壤等介质抵达地面。地面上的拾音器、地面信号接收分析仪等接收装置，则如同敏锐的“耳朵”，捕捉这些微弱的声波信号，随后经专业的信号处理软件进行分析，恰似大脑对信息的解读，最终精准定位出管道的位置、走向。

2.2.1 信号发射系统

信号发射系统作为声波探测仪的关键组成部分，肩负着向燃气 PE 管道内发射特定频率声波信号的重任，其核心功能的实现依赖于一系列先进技术手段。该系统通常采用高精度音频驱动器，结合智能频率调制技术，能够依据不同的探测需求，精准输出频率稳定、波形精准的声波信号。例如在面对管径较小、埋

深较浅的庭院燃气管道时，发射系统可调制出频率相对较高（如 600 – 700Hz）的声波，利用高频声波分辨率高的特性，精准定位错综复杂的分支管道；而对于管径较大、埋深较深的市政主干燃气管道，为确保声波具备足够的穿透能力与传播距离，发射系统则切换至低频模式（如 400 – 500Hz），发射能量集中、衰减缓慢的低频声波。

2.2.2 信号接收与处理系统

信号接收与处理系统犹如声波检测仪的“智慧大脑”，负责精准捕捉从地面传来的微弱声波信号，并通过一系列复杂而高效的算法处理，将其转化为可供精准定位管道的有用信息。接收器多采用高灵敏度的压电式传感器或微振动传感器，凭借其卓越的灵敏度，能够敏锐捕捉到极其微弱的声波振动，即便在强噪声背景下，也能精准“感知”来自地下管道的声波信号。这些传感器将声波振动转换为电信号后，传输至信号处理单元。

信号处理单元内置多种先进算法，其中自适应滤波算法堪称核心技术之一。它能够实时分析周围环境噪声的频率特性，动态调整滤波器参数，精准滤除如交通噪声、工程机械振动噪声等各类干扰信号，确保目标声波信号的纯净度。

同时，采用相关分析算法，对接收信号与发射信号进行相关性运算，依据相关性峰值准确判断声波传播时间延迟，结合已知的声波在介质中的传播速度，精确计算出管道与接收点之间的距离。此外，还运用智能峰值检测算法，快速锁定信号强度峰值对应的位置，结合多接收点的数据融合，进一步提高管道定位的精度与可靠性。

3 声波技术在燃气 PE 管道探测中的实践应用

3.1 工程前期准备阶段的应用

工程前期准备阶段是燃气 PE 管道探测工程的基石，对整个探测项目的顺利推进与精准实施起着决定性作用。以西宁中油燃气在市区的某燃气管道改造项目为例，该项目涉及老旧小区燃气管道更新，地下管线错综复杂，且部分管道铺设年代久远，资料缺失严重。在项目启动之初，探测团队深知前期准备工作的重要性，投入大量精力进行资料收集与现场勘查，为后续声波探测作业的精准实施筑牢根基。

3.2 资料收集与整理

资料收集工作伊始，探测团队积极与西宁中油燃气公司的档案管理部门沟通协作，全力获取燃气管道

的设计资料，包括详细的管道平面布置图、纵断面图、管径规格、材质说明等。

这些设计资料仿若“寻宝图”，为探测人员初步勾勒出管道的大致走向与分布区域。例如，从平面布置图中，能够清晰知晓管道在小区内的敷设路径，是沿主干道还是楼体周边铺设；纵断面图则揭示了管道的埋深变化情况，哪些地段埋深较浅，哪些区域因地势起伏或穿越障碍物而深埋地下。

3.3 现场勘查与设备调试

现场勘查环节，探测人员如同经验丰富的侦探，对项目现场的地形地貌、周边环境进行全方位“侦查”。他们手持专业测量仪器，仔细测量地形高差，绘制简易地形图，标记出低洼、凸起区域，因为这些地形变化会影响声波的传播路径，造成信号折射、反射异常。对于河流、池塘等水体附近的管道，考虑到水与土壤介质的差异对声波传播的影响，会特别规划探测路线，优先选择在干燥、土质均匀的岸边设置探测点，避开复杂的水陆交界区域。

干扰源排查是现场勘查的重中之重，交通要道上的车水马龙、建筑工地的机械轰鸣、工厂车间的设备运转等，均是潜在的噪声干扰源。探测人员使用噪声测试仪，对不同区域的环境噪声进行实时监测，记录噪声频率、强度分布。在靠近主干道的探测区域，发现低频交通噪声强度高达 80 – 90dB，且频率集中在 20 – 200Hz，此时便会在后续设备调试时，针对性地调整声波检测仪的接收频率，避开该频段，增强仪器对目标声波信号的识别能力。

4 影响声波探测效果的因素及应对策略

4.1 环境因素

4.1.1 地质条件

地质条件作为声波传播的“土壤”，对探测效果有着深远影响。土壤类型多样，如黏土、砂土、壤土等，其颗粒大小、孔隙度、密实度各异，致使声波在其中的传播速度与衰减程度大不相同。以黏土为例，其颗粒细小，孔隙小且连通性差，声波传播时能量耗散快，衰减显著；而砂土颗粒较大，孔隙相对较大，声波在其中传播的阻力较小，能量衰减相对缓慢。在某滨海城市的燃气 PE 管道探测项目中，靠近海岸线的区域土壤富含砂粒，且地下水盐度较高，探测人员发现声波信号在该区域传播距离较远，衰减程度低于内陆黏土区域，但信号受海水潮汐引起的土壤湿度变化影响较大，波动明显。

含水量更是关键因素之一,高含水量土壤如同“海绵”,会大量吸收声波能量,导致信号强度锐减。当土壤含水量从 10% 提升至 30% 时,声波传播速度可降低 10% - 20%,衰减系数增大 30% - 50%。在南方梅雨季节的一些探测工程中,雨水浸透土壤,使得声波探测难度骤增,探测深度与精度大打折扣。为应对复杂地质条件,探测团队常采取预勘与模拟相结合的策略。

在项目前期,运用地质雷达、土工钻探等手段详细勘察地质状况,构建地质模型,依据模型调整声波探测参数;如在高黏土含量区域,适当提高发射机功率,降低发射频率,增强声波穿透与传播能力,确保探测效果的稳定性与可靠性,最大程度减小地质因素对探测精度的干扰。

4.1.2 周边干扰源

周边干扰源恰似“噪音”,扰乱着声波探测的“乐章”。交通干道上川流不息的车辆,发动机轰鸣、轮胎摩擦路面,产生强烈的低频噪声,频率多集中在 20 - 200Hz,与声波探测常用频段部分重合,干扰信号接收;建筑工地的打桩机、起重机等重型机械运转时,发出宽频噪声,覆盖声波探测频段,且振动波还会通过大地传导,干扰地下管道声波传输。电气设备如变电站、高压线周围,电磁场变化引发电磁感应噪声,虽频率较高,但对高灵敏度声波探测设备仍有影响,导致信号基线波动,增加误判风险。

4.2 管道自身因素

4.2.1 管道材质与规格

管径与壁厚方面,管径越大,声波在管道内传播时的能量分散相对越小,传播距离更远;而壁厚增加,虽然一定程度上增强了管道的承压能力,但也使得声波穿透管壁时能量衰减加剧。以管径 200mm 与 500mm 的管道为例,在发射功率相同、土壤条件一致的情况下,500mm 管径的管道,声波信号能传输至更远距离,地面接收信号强度约为 200mm 管径管道的 1.5 - 2 倍;当壁厚从 5mm 增加到 10mm 时,声波穿透管壁后的能量衰减率从 30% 上升至 45% 左右,显著影响地面接收信号的强度与清晰度,为探测工作带来挑战。

4.2.2 管道运行状态

燃气压力与流量的动态变化宛如管道的“脉搏”,对声波探测起着关键作用。当燃气压力升高时,气体分子间的碰撞更为剧烈,声波传播速度随之增加,一

般而言,压力每升高 0.1MPa,声波在燃气中的传播速度约提升 2% - 3%。同时,压力波动还会导致声波频率产生微小漂移,若压力变化幅度在 $\pm 0.05\text{MPa}$ 范围内,声波频率漂移可达 $\pm 10 - 15\text{Hz}$,这就要求探测设备具备一定的频率自适应跟踪能力,以精准捕捉声波信号。

流量变化同样不可小觑,流量增大时,气流对管壁的冲刷作用增强,使得管壁振动加剧,进而产生额外的噪声干扰声波探测。在某燃气输配站出站管道探测项目中,高峰用气时段,管道内燃气流量是低峰时段的 3 - 4 倍,此时管壁振动噪声强度增大 20 - 30dB,严重掩盖了目标声波信号。探测团队通过实时监测燃气流量,在流量相对稳定的时段进行探测作业,并结合智能降噪算法,有效滤除管壁振动噪声,成功获取清晰的管道声波信号,保障了探测精度。

5 结论

本研究深入剖析了声波技术在燃气 PE 管道探测工程中的应用,从原理阐释到实践验证,全方位展现了其卓越性能。声波技术基于特定频率声波在燃气管道内的传输,借助先进的探测仪器精准捕捉地面微弱信号,实现对管道位置、走向的高效探测。在工程前期,通过详尽资料收集与精细现场勘查,为探测作业筑牢根基;不同工况下,如直埋、顶管、过河管道探测,均能凭借声波技术克服重重困难,精准定位,相较传统方法优势尽显。

同时,对影响探测效果的环境、管道自身因素深入分析,并提出针对性应对策略,进一步保障了探测精度与可靠性。实践证明,声波技术在燃气 PE 管道探测领域已成为不可或缺的有力工具,为城市燃气安全供应保驾护航。

参考文献:

- [1] 闵宇谦,汤文斌,肖忠群.浅析在役埋地 PE 管道各种定位技术与设备的优劣[J].特种设备安全技术,2019,(04):25-27.
- [2] 吴志航.声波定位法和 PCM 定位法联合应用的工程实例研究[J].电声技术,2024,48(08):7-10.
- [3] 董本万,岳建新,李国政.城镇 PE 燃气管道定位方法研究[J].中国特种设备安全,2019,35(04):55-59.
- [4] 熊俊楠,孙铭,彭超,王泽根,刘姗,周坚.基于探地雷达的城镇燃气 PE 管道探测方法[J].物探与化探,2015,39(05):1079-1084.