

# 塑料制压力管道检验中无损检测技术的应用

李俊良（湖北特种设备检验检测研究院恩施分院，湖北 恩施 445000）

**摘要：**塑料制压力管道大量应用于化工、给排水等行业，其性能对流体输送系统的安全至关重要。基于塑料材料性能的不同，需对其制定专门的无损检测方法，常用的金属管检测方式无法直接应用。传统的X射线检测等方法在进行塑料管道检测时并不灵敏，通过捕捉材料损伤产生的弹性波来辨别管道内的裂纹萌生和扩展的声发射（超声）检测是一种合适的方法；利用塑料热传导率不同的特性，采用热红外成像检测法来判断管道壁厚的变化。

**关键词：**塑料制；压力管道检验；无损检测技术

中图分类号：TQ320.77

文献标识码：A

文章编号：1674-5167（2025）029-0103-03

## Application of Non-Destructive Testing Technology in the Inspection of Plastic Pressure Pipelines

Li Junliang (Enshi Branch, Hubei Special Equipment Inspection and Testing Institute, Enshi Hubei 445000, China)

**Abstract:** Plastic pressure pipelines are widely used in industries such as chemical processing and water supply/drainage systems, where their performance is crucial to the safety of fluid transportation systems. Due to the distinct material properties of plastics, specialized non-destructive testing (NDT) methods must be developed, as conventional metal pipeline inspection techniques are not directly applicable. Traditional X-ray inspection methods exhibit low sensitivity when applied to plastic pipelines. Acoustic emission (ultrasonic) testing, which detects elastic waves generated by material damage to identify crack initiation and propagation within pipelines, proves to be a suitable alternative. Additionally, infrared thermography inspection leverages the unique thermal conductivity properties of plastics to assess variations in pipeline wall thickness.

**Keywords:** plastic-made; pressure pipeline inspection; non-destructive testing technology

随着高分子材料科学的发展，塑料制压力管道在耐腐蚀、轻量化方面的优势日益凸显。不同于金属管道，塑料材料的各向异性和黏弹性行为对无损检测提出了特殊要求。超声导波技术通过分析管道中传播的声波模式变化，实现了长距离快速检测。太赫兹成像技术凭借其非电离特性，适用于食品医药等特殊行业的塑料管道检测。

### 1 塑料制压力管道无损检测技术概述

#### 1.1 无损检测技术定义

无损检测技术指的是不会对被检件正常使用造成影响；所谓的检测，则是指通过对物体进行某些方面（例如形貌、结构、性质等）检测而获得某种信息的方法。换言之，在保持工件不变性的情况下，采用一定的物理或化学手段对其表面或内部进行的检测过程就是无损检测。常用的无损检测方法包括超声、射线、涡流、渗透以及磁粉检测等技术，其中应用于塑料的压力管道时需要根据高分子特性选择适宜频段的超声波等。该类技术所包含的主要环节是信号采集与提取、缺陷识别，而这一步骤是否能够正确可靠地处理好信号则直接影响了结果的有效与否。

#### 1.2 塑料制压力管道特点

塑料制压力管道相对于传统金属管而言在材料上

存在许多不同之处，这直接影响了我们对检测方法的选择。高分子方向各向异性特点决定了其力学性质随着方向的不同而不同；对检测信号的影响也是考虑的因素之一。塑料的黏弹性会使得管道内部出现因时改变而造成的动态形变，因此对检测技术也必须有时间上的响应。材料热胀冷缩的程度较高，受温差影响较大，在温度变换的过程中也会带来一些不稳定因素。塑料管材质本身并不具备导电、导磁性的功能，电磁类检测手段不可能适用；焊接部位接头的材料微观组织结构比较复杂，对管道内外壁粗糙度也有一定的变化量，同时超声等部分检测方式也需要对自身进行特殊处理算法加工。

### 2 塑料制压力管道无损检测技术方法

#### 2.1 超声检测技术

超声的探测技术使用压电换能器产生超声波脉冲，并接收穿过管道内外表面后的反射回波。针对塑料声衰较大这一特点，常选择低频探头，常用频率0.5-5MHz左右。考虑塑料与金属的声速差别，聚乙烯纵波声速约在2300m/s左右，因此需要注意其传播过程中的速度变化。对回波信息的主要识别是关注回波幅度、到达时间以及频谱变化等参数，上述均为可以反映壁厚变化和内部缺陷的关键点。采用相控阵的

方式，在电子控制下让多个晶片组成探头进行不同时刻激发实现偏转聚焦的目的，便于增加对于较复杂区位的检测能力。导波方式利用的是沿着管道轴向行进的特定形式超声导波以达到快速长距离筛查的作用。

## 2.2 射线检测技术

射线检测技术是在塑料管道内充入 X 射线或者  $\gamma$  射线，在胶片或探测器上的成像来识别管道内部存在的缺陷，因为塑料材料的原子序数低一般使用管电压相对较低的情况。计算机射线成像的技术原理是用数字化平板探测数据，利用图像处理增强其显示缺陷的能力。如果遇到多层复合材质的管道时可以使用能量可调的射线源，实时的成像系统可在过程中实时观察被检管线内部的变化情况。射线对检验塑料管道的焊接质量是最为合适的它能够把焊接接头处未熔合、气孔等情况反映出来。而且在检测过程中，要根据直径大小以及壁厚调节几何放大倍数，从而得到满足分辨率要求的成像效果。

## 2.3 磁粉检测技术

磁粉法也是依靠检测材料的表面或近表面缺陷所引起的磁场畸变来确定其缺陷的方法。然而，该方法对于塑料管的使用有特殊要求，由于塑料自身不具有铁磁性，因此该种方法主要应用于含有磁性物质填料的复合塑料管道或带有金属加强层的塑料管道。此外，在塑料管上进行此方法测试时，对管子施加适当强度的磁场，一般是在轴向或周向上产生磁场，并将磁性粒子悬浮液均匀地涂敷在试件表面上，然后，在缺陷部位会显示出漏磁场的地方就会出现堆积着磁性粒子的痕迹。

用荧光磁粉观察检查效果可以用紫外线灯作为光源来增加检出微小缺欠的可能性。这种方法对于玻璃纤维增强塑料也可以用来测定其增强层与基体之间发生的剥离缺欠，而决定灵敏度的因素是磁化强度、粒子浓度以及表面准备情况等。磁痕解释还需要考虑由于注塑成型造成的一些特殊纹路，例如塑料管上的流线纹理。

## 2.4 渗透检测技术

渗透试验是利用一种毛细管的作用在塑料管道的表面上使缺陷显露出来。把渗透液涂敷到检验面上以后，在一定的保留时间内，便进入存在于表面的一切裂缝中，并把进入缝隙内的液体保存在里面，然后除去多余的渗透液，在上面就增加了显示一切存在的缺欠的各种现象来。荧光渗透是在紫外线灯的照耀下发出明亮光线的浸渗性物质。

着色渗透性的特征是以强烈的对比颜色，在有电源的地方可以用来对焊口和其他各种构件上表面作检

查和发现很小的不连续情况。要为进行这些检查作准备时首先应使焊接部分及表层清洗干净；如果这次清洁工作所造成的杂物堵塞住任何不连续的工作，那么这种做法将是毫无用处的；而且一般要求施加显象剂至少 10–30min 才能得到满意的检查效果。大体说来它是用来检查塑料管表面上应力开裂、焊缝上的缺欠以及机械损伤的情况的方法。

## 3 塑料制压力管道无损检测技术应用案例

### 3.1 某化工园区塑料管道检测案例

某大型化工园区对输送腐蚀性介质的塑料管道系统进行综合无损检测，其检测项目包括直径为 200–600mm 的增强型聚丙烯管道网络，最高工作压力为 0.6–1.6MPa。对关键管段使用相控阵超声技术进行壁厚测绘，建立基准数据库；对于焊接接头，开展数字射线检查（达到全熔透水平）；在主要弯头部位使用红外照相机监控可能出现的过热现象。同时，配备了具有自动爬行功能的检测系统用于长时间检测长直管路。缺陷主要发生在支管连接位置的高应力区及一些老化法兰密封面附近。基于检测数据与企业的资产管理系统对接形成管道健康打分，根据管道运行年限和腐能力调整定期检测间隔。

### 3.2 建筑给排水塑料管道检测实例

高层建筑工程项目委托对 PPR 给水管道系统进行安装质量检测。将工作侧重点放在热熔焊接接头的完整性以及不易观测到的管段施工质量上，运用高频超声检验接头熔合区有无未熔合缺陷；在预埋于混凝土中的管段上利用电磁超声技术穿透覆盖层进行检测；针对产生水锤效应多发的区段进行应力分布测量以评估管道抗冲击的能力；增加对卫生间等容易潮湿环境下管道表面裂纹的检验频率；运用相应的模块式设备便于在建筑工地上作业。

主要发现问题为部分热熔接头熔深不够、管道支架间距超标。对工程质量检测结果用于工程验收，有问题的管段全部整改完成，在装修时对其封板之前都完成了相应的问题整改，制定出针对该项目建筑塑料管道施工质量检测的流程。

### 3.3 燃气输送塑料管道检测案例

某城市燃气管网改造工程，对其所属聚乙烯输配管道进行一次全面检测评估。该次检测对象为中压干管及庭院管网，管径 90–315mm，使用低频导波实现在不开挖前提下的大直径长距离快速筛查；应用脉冲涡流着重查找可能存在的金属异物刺入损伤，使用内窥镜对阀门井等重点部位进行检查，对第三方施工影响区域做密集的声发射监测。本次检测发现了交叉施工作业导致的机械划伤和部分老管氧化脆化等风险

点,智能清管器搭载的各类检测模块获取了其途径段管道内壁状态信息,并根据风险判定指导管网改造优先次序,优先更换高风险管段。本案例形成了基于风险的燃气塑料管道检测策略,以有限的检测资源获得最佳的检测效果。

#### 3.4 工业循环水塑料管道检测案例

某电厂的循环水PVC管道执行定期状态检测方案,对于管道内壁结垢情况,采用低频超声检查垢厚和传热损失情况;对于海水冷却管道增加腐蚀裕量检查次数;大直径管道通过激光扫描获得结构变形量;泵出口高压管段通过声发射在线监测捕捉裂缝扩展信号;支吊架位置应力集中处进行结构安全分析;季节性温差较大的管段设置热应变监测点。

发现冷却塔回水管道存在局部流速过快引起的侵蚀问题,并对应到检测结果查找出相关工艺参数,调整了水处理剂加药方案。该案例是一个工业循环水系统的塑料管道检测案例,关注重点是腐蚀、结垢以及流体侵蚀等。

### 4 塑料制压力管道无损检测技术发展趋势

#### 4.1 智能化检测技术发展方向

塑料制压力管道无损检测技术的发展越来越智能化,最突出的表现是:检测系统的自主决策和学习能力被加强了。在信号处理环节使用人工智能算法后提高了缺陷识别准确度;卷积神经网络可以自动从超声波形中提取关键信息;利用以往的历史检测数据用机器学习得到预测模型并对材料性能进行预警;智能传感器网络使每个传感器节点都可以独立地收集和分析数据;自适应检测系统根据材质自主设置检测参数;通过数字孪生对管道进行虚拟仿真并实时展示检测数据和分析结果;有一定判断力的智能诊断系统可以给出关于缺陷的一些信息和维修建议;部分数据分析由检测边缘终端完成以减少延迟时间。

#### 4.2 便携式检测设备研发动态

便捷便携式的研究方向为检测设备小型化、功能一体化,方便现场的灵活检测。缩小后的微型传感器装置可以进入狭小空间进行操作,不同检测项的功能组件采用模块化方式设计可以实现快捷更换。通过无线通信将手持式/车载式等设备连接移动终端,并通过远程连线实现专家会诊。设备低能耗使得产品可长时间连续工作,部分太阳能供电版本可免去充电烦恼。

交互友好型的人机交互界面使操作更加简单,加上了触控屏以及语音控制等功能提升了用户体验度。新型轻量化复合材料外壳减小了检测仪设备重量。集成检测算法与软件于一体的嵌入式系统能够使数据在

现场直接得出结论。机械臂的应用提高了其携带的探测头作业精确性与稳定性。

#### 4.3 多技术融合检测应用前景

采用超声和红外既得到了结构方面的信息也获得了热力学方面信息;导波和声发射各自优势互补,弥补了远距离和精确定位上的不足;射线数字成像结合激光扫描提供了管道内外表面的三维重构能力;电磁和微波相结合提供了对复合材料管道的评价能力;不同检测信号间的物理场同步采集利用其关系提高了缺陷表征的精度;传感器阵列实现了空间多点的同时检测,数据融合的方法为多种技术的综合结果的考虑打下了基础。

#### 4.4 无损检测标准规范完善趋势

塑料管道无损检测标准体系完善逐步趋向于专业、细分方向发展。新标准的制定侧重针对不同类型塑料材料开展不同的标准制定工作,例如对于聚乙烯和聚丙烯的检验规定不同的检测参数。检测工艺规程制定细化到从现场准备至报告解释全工序的过程控制要求;人员资质鉴定增加了针对塑料管道检验的专业培训考核内容;设备评价增加塑料管道相关仪器适用性检验的规定指标;分级判定标准按管道使用场所风险进行差异化设置;标准间的协同发展有利于推进塑管检测的标准化应用;定期更新制度可以及早吸收先进的技术与方法。

### 5 结束语

塑料制压力管道的无损检测技术正处于快速发展阶段,通过持续优化现有检测方法和开发新型技术手段,行业正逐步建立起完善的塑料管道质量评估体系。未来技术发展将更加注重检测方法的适用性、准确性和智能化水平,为塑料压力管道的安全应用提供有力保障,新材料与新检测技术的协同创新将推动该领域迈向更高水平。

#### 参考文献:

- [1] 黄建生. 试论塑料制压力管道检验中无损检测技术的应用 [J]. 轻工科技, 2018, 32(12):108-109.
- [2] 程凯. 无损检测技术在压力管道检验中的运用研究 [J]. 中国设备工程, 2024, (08):185-187.
- [3] 李阳, 刘福建, 杜斌, 等. 无损检测技术在压力容器和压力管道中的应用研究 [J]. 中国高新技术, 2024, (02):140-142.
- [4] 邢谭芳, 李越, 邵玉龙. 无损检测技术在压力容器和压力管道中的应用 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(14):59-61.
- [5] 翟明. 塑料制压力管道检验中无损检测技术的应用 [J]. 科技资讯, 2018, 16(23):70+72.