

城市埋地 PE 燃气管道全面检验方法及应用研究

刘先发¹, 方爱民¹, 周自军²

1. 湖南安广检验检测有限公司, 湖南 常德 415137

2. 湖南九申燃气集团股份有限公司, 湖南 常德 415000

摘 要： 城市现代化建设中, 埋地 PE 燃气管道敷设面积逐步扩大, 由于管线敷设环境的复杂性, 安全隐患的检验难度较大, 一旦出现问题容易造成重大安全事故。目前埋地 PE 燃气管道的全面检验工作中, 尽管部分地区已经出台了标准规范, 但尚未形成完整的标准体系, 以至于全面检验中存在诸多问题, 不同程度上影响检验精度和质量。因此, 文章围绕城市埋地 PE 燃气管道全面检验方法进行论述, 并探讨如何在实际工作中有效应用, 以期为相关人士提供参考。

关 键 词： 全面检验; 检验方法; 埋地 PE 燃气管道; 应用

Comprehensive Inspection Methods and Application Research for Urban Buried PE Gas Pipelines

Liu Xianfa¹, Fang Aimin¹, Zhou Zijun²

1. Hunan Anguang Inspection and Detection Co., Ltd. Changde, Hunan 415137

2. Hunan Jiushen Gas Group Co., Ltd. Changde, Hunan 415000

Abstract: In the modernization of cities, the laying area of buried PE gas pipelines has gradually expanded. Due to the complexity of the pipeline laying environment, it is difficult to inspect potential safety hazards, and major safety accidents can easily occur once problems arise. Currently, although some regions have issued standards and regulations for the comprehensive inspection of buried PE gas pipelines, a complete standard system has not yet been formed. This has led to many problems in comprehensive inspections, affecting inspection accuracy and quality to varying degrees. Therefore, this article discusses comprehensive inspection methods for urban buried PE gas pipelines and explores how to effectively apply them in practical work, aiming to provide references for relevant professionals.

Keywords: comprehensive inspection; inspection methods; buried PE gas pipelines; application

城市埋地 PE 燃气管道多为有压管道。作为一种特种设备, 加强其全面检验对保障运行安全至关重要。通常情况下, 埋地 PE 燃气管道需要定期检验, 根据检验结果反馈管道使用状态, 并组织技术人员及时处置管道问题。因此, 应结合管道定期检验日期对埋地 PE 燃气管道全面检验, 根据现场调查和管道资料选择合适的全面检验方法, 从而对 PE 燃气管道定位、性能试验以及焊接接头无损检测, 及时发现和解决潜在隐患, 为燃气管网正常运转保驾护航。

一、城市埋地 PE 燃气管道检验工作难点分析

埋地 PE 燃气管道作为城市地区广泛应用的燃气管道, 管道压力不超过 0.8MPa, 为了保证埋地 PE 燃气管道运行安全, 需要对此类特种设备全面检验。但国家仅仅是颁布了《压力管道定期检验规则——公用管道》一般性规定, 有些地区根据实际情况颁布了地方性标准, 尽管实际检验工作中取得了一定成果, 但仍然存在以下技术难点^[1]。

(一) 定位探测难度大

由于城市埋地 PE 燃气管道在地下深处埋设, 管材为聚乙烯, 对比传统金属管道具有优良的磁性和电性。此种情况下, 传统金属管道基于电磁感应原理的定位探测技术存在较大局限性, 并不适合埋地 PE 燃气管道全面检验。尤其是当前城市地下管线敷设复杂, 彼此之间存在强电磁干扰。埋地 PE 燃气管道不会受电磁

号干扰, 因此也无法使用管线探测仪精准探测管道位置、走向。部分城市老城区由于建设时间较早, 地下管网资料模糊不清或丢失, 缺少全面的图纸参考下, 现场定位探测管道位置、走向难度较高, 不可避免影响后续相关联工作展开。

(二) 漏点排查难度大

城市埋地 PE 燃气管道运行环境较为复杂, 一旦管道泄漏, 管道周围土壤将吸附部分燃气, 并且随着土壤缝隙扩散, 因此燃气泄漏点并非是垂直逸出地面, 一定程度上增加了燃气泄漏点检测难点。部分土壤输送区域, 燃气泄漏后随着土壤缝隙大范围扩展, 往往会大距离扩散, 最后逸出地面, 使用传统地面燃气检测仪无法精确定位燃气泄漏点源头位置。另外, PE 管道的泄漏形式多样, 可能是细小泄漏, 也可能是大面积损坏泄漏, 检测泄漏信号特征存在显著差异, 进一步增加了泄漏点排查难度^[2]。

（三）失效机理不明确

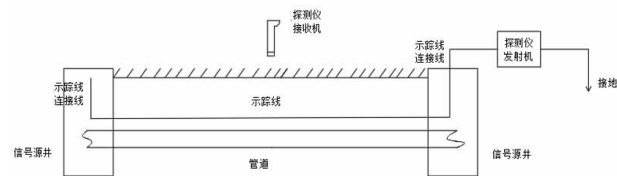
埋地 PE 燃气管道运行中，容易受多种因素影响导致管道失效，但具体失效机理并不明确。从埋地 PE 燃气管道的材料性质角度来看，PE 管道材料长期使用中受化学物质腐蚀或环境应力等作用影响下，使得材料性能逐渐下降，具体劣化过程和影响因素的量化关系不明确。具体施工环节，PE 管道焊接工艺不合理，存在焊缝缺陷，用力集中下可能出现施工缺陷，导致管道性能失效。另外，随着城市地面交通量增加，地面载荷以及土壤沉降等作用力影响下，PE 燃气管道性能也会受到负面影响。由于失效机理模糊，后期管道使用性能和寿命评估方面缺少有效数据支持，影响后续关联工作展开^[3]。

二、城市埋地 PE 燃气管道全面检验方法

通常情况下，埋地 PE 燃气管道全面检验中，应遵循相应要求展开。全面检验需要收集管道设计资料、施工验收资料以及管道运行等资料；宏观检查管道位置与走向、泄漏检查、管道示踪系统检查、地面标志检查以及阀门井检查等项目，尤其要检查管道沿线区域的地表环境，是否存在管道裸露在外，或是出现第三方施工、占压以及生物侵害等现象；开挖直接检验，对管道敷设质量和管体性能进行检查，部分情况下取样试验检测。根据管道全面检验要求，应灵活选择合理的全面检验方法，具体如下。

（一）管道精准定位

1. 示踪法管线定位。埋地 PE 燃气管道全面检验中，示踪法管线定位是一种代表性技术，在管道敷设时同步敷设金属管道，同管道保持平行状态敷设。根据电磁感应原理施加示踪线特定频率交变电流，示踪线区域会形成交变磁场。工作人员使用配备感应线圈的管线探测仪，在地面探测磁场信号分布和强度等情况，从而精确定示踪线位置，掌握 PE 燃气管线位置、走向^[4]。具体原理如图 1。此种方式优势鲜明，对 PE 管道材质要求不高，保证示踪线完好敷设即可，能够有效抵御复杂电磁环境干扰，探测定位精度达到 $\pm 0.1\text{m}$ 。但如果管线施工过程中存在短路或断裂等现象，可能导致电磁信号中断，定位精度下降，有待进一步完善。



> 图 1 示踪法管线定位

2. 除了运用示踪法管线定位外，也可以采用探底雷达法，使用 400MHz 天线阵列扫描，横纵向分辨率达到 $\pm 15\text{cm}$ 、 $\pm 5\text{cm}$ ，适合含水量不超过 25% 的均质土壤。但此项技术通常需要引入 GIS 地理信息系统，使用 BIM 技术重构地下管网模型，并结合管道竣工图纸坐标匹配进行探测定位^[5]。

（二）管道泄漏检测

管道泄漏检测时可以选择地面钻孔检测法，此种方法操作简单、直接，对于疑似燃气泄漏区域，在一定间距内开挖多个孔

洞，深度接近 PE 燃气管道位置，使用便携式燃气检测仪检测孔洞中逸出的燃气，如果浓度超出正常范围，表明该区域存在管道泄漏^[6]。此种泄漏检测方法操作简单、成本低，适合小规模燃气管道泄漏检测，锁定大致范围，后期采用其他方法进一步缩小范围。但同时，此种方式检测效率偏低，需要大量钻孔，对于城市地面破坏较大，而且无法精准定位燃气管道泄漏点，存在较大的偏差。具体如表 1。

表 1 管道泄漏检测方法

检测项目		泄漏初检	检测程序	确定泄漏位置
管道	埋地架空	仪器检测环境	气相色谱分析、激光甲烷遥测	仪器检测开挖、钻孔

红外成像检测法，根据物体的温度变化产生不同红外辐射的原理，精准定位管道位置。PE 燃气管道泄漏，燃气会逐渐渗透到周围土壤孔隙中，使得泄漏点与周围土壤温度表现出明显差异，其原因在于燃气泄漏时会吸收或释放热量，土壤原本的温度发生改变。工作人员使用红外热成像仪在泄漏区上方检测，捕捉温度差异后以红外图像形式可视化呈现，而图像中温度异常区域可能是泄漏点^[7]。采用红外成像检测法检测燃气管道泄漏，表现出扫描面积大、检测速度快等优势特点，并且不需要接触被检测对象即可获取精准定位泄漏点。但同时，此种方法也会受到土壤热物性和温度等因素影响，导致工作人员出现误判情况，降低检测精度。

（三）管道焊接头无损检测

PE 燃气管道连接需要焊接处理，通常有电容焊接以及热熔焊接两种方式，焊接质量高低很大程度上决定了管道结构完整性和安全性。就 PE 燃气管道焊接头缺陷类型来看，包括孔洞、夹渣、未焊透以及冷焊等。不同缺陷产生原因不尽相同，分析缺陷原因后，可以为后续焊接缺陷处理提供有效参考依据。以孔洞缺陷为例，可能是由于管材或管件制造质量不符合要求，制造环节出现孔洞；焊接环节由于材料潮湿或夹杂油污产生蒸汽，从而导致气孔缺陷出现；部分管道焊接后冷却缩孔出现缺陷^[8]。

通常情况下，管道焊接头缺陷采用超声波无损检测法进行，根据超声波在不同介质传播中遇到缺陷的折射、反射等特点，从而掌握焊缝位置、大小和形状。地理 PE 燃气管道焊接头检测中，在管道避免涂抹耦合剂，将超声波探伤仪探头与焊接头接触，移动探头发生高频超声波掌握焊缝缺陷，超声波遇到裂纹、气孔等却先后反射超声波，接收反射波即可获取电信号，可视化呈现超声波波形^[9]。分析反射波位置、幅度以及形状等特点，掌握焊接缺陷的类型和位置等信息。采用超声波检测法操作简便、灵敏度高，实现微小焊接缺陷快速筛查，并且不会影响或损害管道本体。

（四）管道理化性能检测

1. 拉伸性能检测。PE 管道拉伸性能检测，检测参数主要包括断裂伸长率、抗拉强度以及屈服强度等。具体检测中，应截取部分管体或管件试样，并将其安装在材料试验机夹具上，以恒定速率逐步施加轴向拉力，随着拉力增加试样也会随之变形，达到材

料极限值后则会断裂，计算断裂时最大应力大小及为抗拉强度，试样断裂后计算试样标距部分伸长量与原始标距长度的百分比，即断裂伸长率。根据这些参数能够直观反映出材料承受拉伸载荷时的性能水平，对于评估管道泄漏几率，指导后续管道修复工作开展具有重要意义^[10]。

2. 硬度检测。硬度检测综合评估 PE 燃气管道抵抗局部变形能力，多选择洛氏硬度测试法或是邵氏硬度测试法，其中后者更适合 PE 燃气管道硬度检测。检测过程中，将邵氏硬度计压针与管道保持垂直接触状态，施加一定压力，一段时间后读取硬度计表盘数值。通过硬度值即可反映出 PE 管道材料的软硬程度、抗压性能以及耐磨性等参数。PE 材料硬度越高，耐磨性越理想，有助于管道在地下环境较好地抵抗硬质材料的磨损，降低管道泄漏几率，延长管道的使用寿命。

3. 耐应力开裂性能检测。PE 燃气管道运行中，受化学介质以及环境应力等因素影响，可能导致管道开裂，介质泄漏，威胁管道安全运行。常规的检测方法有切口恒定拉伸负荷法，模拟管道在实际环境中的运行工况，将试样加工为特定尺寸规格的切口，置于拉伸装置上，施加一定拉伸应力，浸泡在表面活性剂溶液中，一定时间内观察试样是否开裂。如果未出现开裂，则表面管道材料的耐环境应力开裂性能优良。

三、工程实践

以某城市埋地 PE 燃气管道为例，管道材质为 PE100，管道沿线缺少地面标识和示踪线辅助检验，具体参数如表 1。

表 1 埋地 PE 燃气管道参数

序号	项目	内容
1	待检测 PE 管道长度	4km
2	设计压力	0.4MPa
3	运行压力	0.2MPa

（一）检验过程

埋地 PE 燃气管道检验中，综合评估管道位置、埋深和走向。根据相关数据信息，完成管材测厚、阀门泄漏检测以及燃气阀门完整性等检测工作，随后开挖检测。根据全面检验标准要求，在合适区域确定开挖点，开挖检测分析管体状态、管道性能，并对焊缝无损检测，结合外部观察结果综合评估管体的全线风险情况，为协同控制提供支持。

被检测管道施工时并未同步敷设示踪线，因此管道全面检验适合选择声波定位法定位管道位置、走向，结合 PE 管道的埋地敷设情况，声波信号接口选择靠近阀门井的放散阀，使用设备发射机发送声波震动信号到燃气管道中，声波振动会带动 PE 管振动，并朝着周围土壤传播振动，地面远端使用接收机接受声波振动信号，根据信号的强弱大小，定位管道位置。现阶段城市埋地 PE 燃气管道定位中广泛采用这一方法，但更多的是检测管道平面走向，难以反映出管道埋深情况。因此，想要获取管道埋深还需要联合直接开挖、施工材料等综合确定。

管道外表面使用刮刀进行处理，定量取样进行氧化诱导时间

性能测试，检验管道耐老化性能，并格局现场检验数据和资料审查等方式，对管道全线风险评估，掌握 PE 燃气管道失效可能性。

（二）检验结果

全面检验中发现有 2 处阀门泄漏，结合其位置和环境，分析泄漏原因主要在于放散阀法兰松动，注油阀丝扣发生损坏，使其控制失效。同时，1 处存在建筑物占压管道、1 处 PE 燃气管裸露在河槽埋地段，组织人员对氧化诱导情况进行分析，为后续的针对性修复处理提供支持。根据管道运行安全要求，对于占压管道的建筑物限期移除，并做好管道地面表示，避免后期出现类似的建筑物占压管道现象出现。另外，对管道性能试验，发现部分管道老化现象严重，其原因在于使用时间长，敷设施工时缺少有效的保护措施，加之土壤湿度大，使得管道受侵蚀严重。

四、结论

综上所述，城市埋地 PE 燃气管道敷设范围较广，由于管道沿线区域地质条件和外部环境不同，容易受多种因素影响出现损坏、泄漏等问题。因此，为了保证 PE 燃气管道运行安全，应做好全面检验工作，选择合适的检验方法和设备，精准探测定位管线位置与走向，检测是否存在泄漏和破损等情况，以便于组织人员及时修复处置，将安全隐患消灭在萌芽状态。

参考文献

- [1] 庞世刚. 城市埋地 PE 燃气管道全面检验方法及应用研究 [J]. 中国高科技, 2024, (06): 114-116.
- [2] 李胜利, 崔文豪. 北方地区 PE 燃气管道监督检验探讨 [J]. 山东化工, 2024, 53 (03): 74-76.
- [3] 林星佑, 刘蓉. 无损检测技术在城市燃气管道的应用 [J]. 煤气与热力, 2023, 43 (12): 16-20.
- [4] 蔡安安, 代小强, 李兆令, 等. 综合物探方法对城市 PE 燃气管道探测的应用研究 [J]. 云南大学学报 (自然科学版), 2023, 45 (S1): 187-191.
- [5] 魏东. 城市埋地 PE 燃气管道全面检验方法及应用探讨 [J]. 科学技术创新, 2022, (22): 5-8.
- [6] 石膏. 城市埋地 PE 燃气管道全面检验方法探讨 [J]. 科学技术创新, 2021, (14): 106-108.
- [7] 李昌胜, 徐义, 谭凯, 等. PE 管在城市管道天然气工程中的应用 [J]. 中国高科技, 2021, (07): 78-79.
- [8] 徐海峰. 城镇燃气 PE 管道第三方挖掘施工损伤风险评估技术研究 [J]. 石化技术, 2020, 27 (12): 26-27.
- [9] 张海营, 郭栋梁. 城镇埋地 PE 燃气管道风险评估应用研究 [J]. 中国设备工程, 2020, (13): 161-162.
- [10] 郝琪. 城市燃气管道安全管理存在的问题与对策探析 [J]. 化工管理, 2020, (17): 74-75.