

城镇燃气管道建设中无损检测技术的综合运用研究

王君 赵修智（山东港华燃气集团有限公司，山东 济南 250002）

徐海林（济南能源集团有限公司，山东 济南 250013）

摘要：在当代城镇蓬勃发展的进程中，燃气作为一种高效、清洁的能源，其管道系统的铺设规模正以前所未有的速度扩张。这一迅猛的发展态势无疑对无损检测技术提出了更为严苛的要求。本项深入研究将目光聚焦于超声检测、射线检测、磁粉检测及渗透检测等一系列在行业内占据主流地位的无损检测手段，全方位、深层次地剖析各技术所依托的原理根基，细致入微地阐述它们各自具备的显著优势以及难以避免的局限性。与此同时，紧密围绕城镇燃气管道建设的各个关键环节，从最初的管材入场严格检验，到至关重要的焊接质量精准把控，再到关乎管道寿命的防腐层完整性严密监测，系统且详尽地阐述如何巧妙、科学地综合运用这些技术，从而达成对管道内部潜在缺陷的精准探测目标。通过引入极具代表性的实际工程案例，生动且直观地展示这些技术在实战中的应用成效，并进一步提出具有针对性、可操作性强的质量控制策略，旨在为城镇燃气管道建设向着更高质量水平稳步推进提供坚如磐石的技术支撑与切实可行的实践指导，切实保障燃气供应系统能够安全、稳定、持续地运行。

关键词：城镇燃气管道；无损检测；焊接检测；防腐层检测；质量保障

0 引言

随着城市化进程宛如滚滚浪潮般加速推进，城镇对于燃气的需求如同井喷一般呈爆发式增长态势，燃气管道网络恰似一张不断延展的庞大脉络，持续向城镇的各个角落纵深蔓延。这些燃气管道大多深埋于地下，所处的运行环境错综复杂，不仅要承受来自内部的气体压力，还要经受土壤长期的腐蚀侵蚀，以及来自地面施工、地质变动等外力的挤压作用。一旦管道系统的某个部位不幸发生泄漏状况，那么极易引发诸如爆炸、火灾等灾难性事故，这些事故所带来的后果不堪设想，将会直接危及广大民众的生命财产安全，对整个社会的稳定秩序造成严重冲击。而无损检测技术，恰如一道坚不可摧的关键防线，它能够在丝毫不破坏管道原有结构的前提下，凭借着先进的技术手段敏锐地识别出管道内部隐匿的各类缺陷，提前向相关人员发出风险预警信号，在城镇燃气管道建设这一宏大工程中扮演着绝对不可或缺的重要角色，是保障工程质量与安全的核心力量。

1 无损检测技术概述

1.1 超声检测技术

超声检测技术巧妙地利用了超声波在不同介质中独特的传播特性。当高频超声波由特制的探头发射，并顺利穿透进入管道材料内部时，一旦遭遇诸如裂纹、气孔等缺陷，部分声波便会依据物理规律发生反射、

折射现象。此时，预先安置好的接收探头如同敏锐的“耳朵”，能够精准捕捉到这些反射回来的声波，并迅速将其转换为可供仪器分析处理的电信号，经过专业检测仪器复杂而精密的算法处理后最终成像。这项技术最为突出的优势在于它对平面型缺陷展现出极高的敏感度，能够以令人惊叹的精度测量出缺陷所处的深度以及具体的尺寸大小，因而在焊缝质量检测以及母材厚度测定等方面发挥着无可替代的作用。而且，超声检测设备通常具有小巧便携的特点，检测人员能够较为便捷地携带至施工现场的各个角落进行操作，检测效率总体来说尚可。然而，它也并非十全十美，其检测结果在很大程度上依赖于检测人员丰富的实践经验，对于缺陷的定性分析相对复杂，并且为了确保超声波能够在管道材料中顺畅传播，往往需要借助良好的耦合介质来消除界面间的空气影响，这在一定程度上增加了操作的繁琐程度。

1.2 射线检测技术

射线检测技术的核心原理是借助 X 射线或 γ 射线强大的穿透能力，使这些射线穿透待检测的管道。当射线穿透管道后，置于管道另一侧的胶片会依据接收到的射线强度不同而产生不同程度的感光现象，或者由数字探测器将射线信号转换为数字图像信息进行接收。由于管道内部存在缺陷的部位与完好无损的部位对射线的吸收能力存在显著差异，所以在最终成像

的影像上，缺陷部位便会呈现出与周围正常区域截然不同的灰度轮廓，清晰地展现出缺陷的形态、位置等关键信息。这种技术最为人称道的便是其直观性极强，能够让检测人员如同直接“透视”管道一般，一目了然地看清缺陷的全貌，对于体积型缺陷的判断更是精准无误，因此常常被用于对关键焊缝质量进行严格的抽检环节。但令人遗憾的是，射线本身具有辐射危害，这就使得在进行检测作业时，必须配备专业且昂贵的防护设备，防护成本居高不下。同时，射线检测的速度相对缓慢，在大规模检测任务面前显得力不从心，而且对于薄壁管道而言，射线极易造成过度曝光的情况，从而大大影响对缺陷的分辨精度。

1.3 磁粉检测技术

专门针对由铁磁性材料制成的燃气管道，磁粉检测技术依托于神奇的磁化原理大显身手。当对管道施加适当的磁化处理后，管道内部的磁力线会呈现出均匀分布的状态。然而，一旦管道表面或近表面存在裂纹、夹杂等缺陷，磁力线就会在这些缺陷处发生畸变。此时，将细微的磁粉均匀地散布于管道表面，在磁力的作用下，磁粉便会如同受到神秘召唤一般，迅速聚集在缺陷部位，形成清晰可见的磁痕。这项技术操作起来简便快捷，几乎不需要复杂的设备辅助，检测人员能够在短时间内完成大面积的检测任务，并且对于管道表面的裂纹、夹杂等常见缺陷检测效果堪称立竿见影，成本也相对低廉，深受施工一线人员的喜爱。但需要注意的是，它的应用范围较为狭窄，仅适用于铁磁材质的管道，对于非铁磁材料则无能为力。而且其检测深度十分有限，只能探测到表面或近表面的缺陷，另外，在完成磁化检测后，还必须对管道进行退磁处理，否则残留的磁性可能会对后续管道的安装、运行等环节产生不良影响。

1.4 渗透检测技术

渗透检测技术具有广泛的适用性，能够适用于各类材质的管道表面开口缺陷筛查工作。其操作流程大致如下：首先将含有特定染料或荧光剂的渗透液小心翼翼地涂覆在管道表面，凭借着液体神奇的毛细管作用，渗透液会缓缓渗入那些肉眼难以察觉的微小缺陷之中。经过一段时间的渗透后，将管道表面多余的渗透液彻底清除干净，随后再均匀地施加显像剂。此时，原本渗入缺陷内部的渗透液便会在显像剂的吸附作用下，在管道表面呈现出直观可见的痕迹，仿佛将缺陷“放大”展示在检测人员眼前。这项技术最大的优势

在于它完全不受管道形状、材质电磁特性等因素的限制，无论管道是何种奇特的形状，何种特殊的材质，都能轻松应对，而且所用到的设备简单易懂，检测人员能够快速上手操作。不过，它也存在着明显的短板，由于其原理基于液体渗透，所以只能检测到管道表面开口的缺陷，对于内部封闭性缺陷则鞭长莫及。并且在清洗渗透液的过程中，稍有不慎就可能造成环境污染问题，同时其检测灵敏度受多种因素影响，波动幅度较大，稳定性欠佳。

2 无损检测技术在城镇燃气管道建设各环节的应用

2.1 管材选用与入场检验

管材作为燃气管道建设的基础“骨骼”，其质量优劣直接关系到整个管道系统的成败。在管材入场的第一道关卡，超声测厚技术就如同一位精准的“测量师”，能够精确地测量出管材各个部位的壁厚，通过与设计标准进行细致比对，将那些壁厚偏差超出允许范围的次品管材毫不留情地排查出来。与此同时，磁粉检测与渗透检测宛如一对“黄金搭档”，两者相辅相成，对管材的整个表面进行全方位、无死角的“深度体检”，能够及时发现诸如裂纹、砂眼等在管材制造过程中产生的细微缺陷，坚决杜绝任何有质量隐患的管材进入施工现场，从源头上为管道建设工程筑牢坚实的质量防线。

2.2 管道焊接质量管控

焊接接头无疑是整个燃气管道系统中的强度“薄弱点”，任何细微的焊接缺陷都可能在日后引发严重的安全事故。在焊接工作正式开展之前，渗透检测技术就肩负起核查坡口加工精度与清洁度的重任，确保坡口表面平整光滑、无油污杂质，为后续高质量的焊接工作奠定良好基础。在焊接过程中，超声检测技术则如同一位“实时监督员”，通过巧妙地布置探头，能够实时监测熔池的动态变化情况，敏锐地捕捉到诸如未熔合、夹渣等潜在缺陷信号，及时提醒焊工调整焊接参数。而当焊接工作圆满完成，射线拍片检测技术宛如一位“解剖专家”，对焊缝进行“切片式”的精细检查，将焊缝内部的结构清晰地呈现出来，再结合超声复查技术，从不同角度、不同层面保障焊缝内部质量万无一失，确保每一个焊接接头都具备足够的强度，能够稳稳承受管道在运行过程中所承受的各种应力。

2.3 防腐层质量监测

防腐层作为燃气管道抵御土壤腐蚀侵蚀的坚固“铠

甲”，其质量好坏直接影响着管道的使用寿命。在管道建设以及后续运维过程中，电火花检测技术如同一位“敏锐的侦察兵”，定期沿着管道进行巡检。一旦防腐层出现针孔、破损等微小缺陷，电极与管道之间便会瞬间产生放电火花，检测人员据此便能精准定位缺陷所在位置，及时进行修复。与此同时，涂层测厚仪则像是一把“精密的卡尺”，随时对防腐层的厚度进行抽检，严格保障防腐层的均匀性，确保其厚度与设计要求分毫不差，从而全方位延长管道的服役寿命，使其能够在复杂恶劣的地下环境中长期稳定运行。

3 无损检测结果评定与质量控制体系

3.1 检测结果评定标准

在对无损检测结果进行评定时，必须严格遵循国家及行业权威颁布的一系列标准规范，其中《城镇燃气输配工程施工及验收规范》堪称行业“圣经”。依据该规范以及其他相关标准，对各类无损检测所获取的数据结果进行严谨的量化分析。具体而言，要综合考量缺陷的类型，究竟是裂纹、气孔还是夹渣等；细致测量缺陷的尺寸大小，包括长度、宽度、深度等关键参数；精确统计缺陷的分布密度，判断缺陷是集中出现还是分散分布。同时，紧密结合管道的设计压力、材质特性等重要参数，运用科学合理的计算模型与评定方法，综合判定管道的质量等级，明确界定出哪些缺陷是在可接受范围内，哪些缺陷必须进行返修处理，确保每一个评定结论都经得起实践的检验。

3.2 质量控制要点

①人员素质提升：检测人员作为无损检测技术的直接执行者，其专业素养的高低直接决定了检测结果的准确性与可靠性。因此，检测人员必须经过系统、专业的培训课程学习，深入掌握各类无损检测技术的原理、操作流程、数据分析方法等核心知识。并且要积极考取对应资质证书，以证明自身具备从事相关检测工作的能力。更为重要的是，在当今技术日新月异的时代背景下，检测人员还需持续关注行业最新动态，不断更新自己的知识储备，通过参加技术交流研讨会、实际案例分析会等活动，熟练掌握多种检测技术联用的技巧与精髓，切实提高自身对各类缺陷的识别准确率，成长为行业内的技术精英。

②设备精准维护：超声检测设备、射线检测设备等作为无损检测的核心“武器”，其性能的稳定性与精准度直接关乎检测数据的质量。故而，必须建立一套完善的设备定期校准制度，按照设备制造商的建议以及行业标准要求，定时对设备进行全面校准。在校

准过程中，要着重校验探头的性能，确保其发射与接收超声波的能力始终保持在最佳状态；严格监测射线剂量的稳定性，保证射线输出强度符合检测标准，避免因射线剂量波动而导致检测结果出现偏差。只有通过这样细致入微的设备维护工作，才能确保每一次检测所获取的数据真实可靠，误差严格控制在允许范围之内，为后续的质量评定与决策提供坚实的数据基础。

③工艺优化创新：随着城镇燃气管道建设工程不断向复杂工况、新型材料领域拓展，原有的无损检测工艺可能逐渐暴露出局限性。因此，依据管道实际所处的工况环境变化，如高温高压、高湿度地区的管道，或是遭遇强酸碱土壤侵蚀的管道；以及材质方面的革新，如新型合金材料制成的管道等情况，检测团队必须不断探索、优化检测工艺。通过开展技术研发项目、与高校科研机构合作等方式，针对复杂管件研发特殊的磁化工艺、耦合工艺，突破传统工艺的瓶颈，全方位提升检测效能，确保无损检测技术始终能够精准适配管道建设的新需求。

4 结论与展望

综上所述，无损检测技术在城镇燃气管道建设的全过程中实现了有机融合，已然成为保障管道质量、维护社会公共安全的核心要素。通过巧妙地将超声检测、射线检测、磁粉检测以及渗透检测等多种技术协同互补，充分发挥各技术之长，成功实现了从微观层面的细微缺陷精准识别，到宏观层面的整体质量严格把控的全方位监管格局。展望未来，随着科技浪潮汹涌澎湃，人工智能、物联网等前沿技术正以前所未有的深度嵌入到各个行业领域，无损检测技术也即将迎来一场革命性的变革，迈向智能化、实时化、远程化的全新发展阶段。

参考文献：

- [1] 李海勇,许爱军,张世忠.城镇燃气管道建设中无损检测技术的综合运用研究[J].中国设备工程,2021,(14):2.
- [2] 郭永红,王勇,冯伟.无损检测技术在城镇燃气管道建设中的应用研究[J].石油石化物资采购,2021,(24):1.
- [3] 胡景川,孙福军,张艳华.无损检测技术在燃气管道建设中的应用[J].化学工程与装备,2020,(11):2.
- [4] 王帅,黄维秋,刘鹏.燃气管道无损检测技术研究进展[J].管道技术与设备,2019,(3):4.
- [5] 张旭辉,王浩.无损检测技术在燃气管道中的应用[J].化工管理,2018,(11):1.