

# 无损检测在油气储运管道维护中的关键作用

刘翠丽（管网集团（徐州）管道检验检测有限公司，江苏 徐州 221000）

**摘要：**油气储运管道作为能源运送系统命脉，在当下能源架构里占据极为关键地位，油气储运管道是否安全可靠，直接影响着国家能源战略安全和效能水平发挥情况。而在油气储运管道运行过程中会遭遇诸多问题与挑战。“无损检测”技术能够在不对被检物体造成破坏的情况下，精确辨识出管道存在的瑕疵状况，判定其受损程度，并监测其安全性。依靠前瞻性观测和及时反应体系，运维小组能准确找出并且尽早处理潜藏危机，精心谋划维护时间，施行细致修理方案，很大程度缩减事故发生的几率，保证油气传输管线顺利，安全又稳定地运转，进而守护国家能源供应。

**关键词：**无损检测；油气储运管道；管道维护

中图分类号：TE973.6 文献标识码：A 文章编号：1674-5167 (2025) 024-0139-03

## The key role of non-destructive testing in the maintenance of oil and gas storage and transportation pipelines

Liu Cuili (Pipeline Network Group (Xuzhou) Pipeline Inspection and Testing Co., LTD. Xuzhou Jiangsu 221000,China)

**Abstract:** As the lifeblood of the energy transportation system, oil and gas storage and transportation pipelines occupy an extremely crucial position in the current energy architecture. Whether oil and gas storage and transportation pipelines are safe and reliable directly affects the security and efficiency level of the national energy strategy. During the operation of oil and gas storage and transportation pipelines, many problems and challenges will be encountered. Non-destructive testing technology can accurately identify the defect conditions of pipelines without causing damage to the inspected objects, determine the degree of damage, and monitor their safety. Relying on the forward-looking observation and timely response system, the operation and maintenance team can accurately identify and handle hidden crises as early as possible, carefully plan maintenance time, implement detailed repair plans, greatly reduce the probability of accidents, ensure the smooth, safe and stable operation of oil and gas transmission pipelines, and thereby safeguard the country's energy supply.

**Key words:** Non-destructive testing; Oil and gas storage and transportation pipelines; Pipeline maintenance

随着科技领域的不断发展，无损检测技术正在经历持续的更新与改良过程。深入探究无损检测技术在油气储运管道保护方面的应用情况，对于保障能源供应的安全性与稳定性、有效降低经济损失以及助力环保事业等方面，都有着不可估量的战略意义与实际用途，在加快行业技术革新方面也极具价值。

### 1 无损检测技术体系与管道适用性匹配

#### 1.1 主流无损检测技术原理与性能对比

油气储运管道维护这一关键领域中，几种先进的无损检测技术以其性能特异性，可以有效、准确地识别管道存在的缺陷，保证整个系统安全可靠。超声检测技术是基于超声波在不同声阻抗界面反射、折射以及波形转换的现象来发现并评估材料中缺陷的一种方法。超声波在管道内部传播时，遇到缺陷，会有一部分能量被反射回探头。通过精确地测量与分析返回波的时延、振幅及其他参数等信息，能够对缺陷进行精确定位、准确估计其大小乃至形状的科学鉴定。该技术针对内部体积型缺陷如气孔、夹杂物等的检测非常

敏感，并且能够对较厚管壁管道进行有效的检测，检测深度也十分可观。

射线检测技术依靠射线穿过多材质管道的时候，通过缺陷部分与基材对射线吸收程度的不同，造成底片上显现不一样的感光影像，从而清楚地表现出来缺陷的几何形态和确切位置。此种办法有着明显的优点，可以准确地展现管道内部的体积型缺陷，而且在对缺陷的定性定量方面非常精准，检测的结果直观可见，并且可以长久保存，保证了信息的正确性与持久性。但是射线检测技术的辐射伤害，高成本和较慢的检测速度制约了它的广泛应用。

磁粉检测技术依靠铁磁性材料在磁场环境下的磁化特性，当这类材料置于磁场之中，如果其表面或者邻近表面的地方出现缺陷，那么就会致使局部磁通量密度变大，从而产生漏磁场。这种现象促使施加在表面的磁粉被吸引到缺陷处聚集起来，形成肉眼可见的磁粉堆聚现象，即为磁痕。借助对这些磁痕的分布状况以及形态加以分析，就能够很好地显示出缺陷存在

的地方及其几何特征。这项技术针对铁磁性材料管道表面及近表面的缺陷，有着极为出色的检测灵敏度，其操作过程简单而迅速，检测速度非常快，并且具有十分明显的价格优势。

渗透检测技术是把渗透液涂抹到被检测管道表面，然后让渗透液渗透到潜在缺陷区域，在清除掉多余渗透液之后再施加显像剂，于是就完成了对缺陷区域的标记工作。在这个流程当中，渗进缺陷里的渗透液会吸附在显像剂表面，从而形成与缺陷几何形状相吻合的痕迹，这样就显示出了隐藏的缺陷。渗透检测技术因为操作便捷而且应用范围广而颇受欢迎，它能有效地辨别和评价很多种不同基材表面上的开口缺陷，特别对于那些形状较为复杂，用其他办法很难全面检查的管道表面来说，渗透检测表现得更为出色，其检测精确度以及覆盖面积都很好。

## 1.2 管道材质与工况下的技术适配策略

对于油气储运管道维护工作所面对的复杂状况，也就是管道材质和不停变化的运行工况，要想做出符合其特性的无损检测技术的选择就显得非常必要。针对不同的管道材质，其对应的适配策略呈现出明显的多样性和特定性。在油气存储及运输范畴内，碳钢管道之所以被广泛采用，主要缘于它兼备强度和韧性两大特性，具有显著的优点与实用价值。针对不锈钢这种非铁磁性材料制成的管道，超声检测与射线检测则是更合适的主要检测手段。超声检测技术可以精准定位出缺陷所在的位置，对缺陷的实际尺寸做出有效的评估；而射线检测方法所生成的直观缺陷影像能为缺陷的定性与定量分析带来了更加清晰、形象的支持。技术适应性评价时，除了材料特性，管道操作状况也是关键考虑因素之一，针对在极端高温高压条件下运行的管道，材料性能变化以及由此造成的应力集中、疲劳裂纹等现象，显示了用超声检测技术来评价管道内部状态的必要性。对于处在强腐蚀环境中的管道，特别是输送像石油、天然气这样含有腐蚀成分的管道，其内壁很容易被腐蚀侵袭，出现腐蚀坑洞甚至严重的穿孔缺陷，利用渗透检测技术，可以准确地显示出由腐蚀造成的表面开口缺陷的形状和确切位置。碰上复杂工况的时候，采用多种无损检测技术相结合的运用策略，结合具体工作状况灵活调整和改进策略，保证全面而且准确检测。

## 2 无损检测在管道缺陷识别中的核心功能

### 2.1 隐蔽性缺陷的精准识别与量化评估

油气储运管道在其长期运作期间，隐蔽的瑕疵就像埋藏的“定时炸弹”，时时刻刻对生产安全和公共安全造成威胁。凭借非侵入性和精准度高这两个特点，

无损检测技术可以做到对隐藏缺陷的准确识别并给出量化评判。在管道内壁，像细微裂纹，未完全熔合之类的瑕疵由于隐藏位置的缘故常常会避开常规检测手段的观察。超声检测技术不但能精确找到缺陷所在的准确位置，还能大概推测出缺陷的形状。在针对焊缝内部未焊透缺陷展开评价的时候，超声检测技术表现出很强的能力，可以精准地识别并界定缺陷的边缘，从而给之后的修补和保养工作给予非常关键的数据支撑和决策根据。

### 2.2 缺陷扩展趋势的动态预测与风险分级

仅识别出管道缺陷还不够，准确预测它的发展路径并执行风险分类，这对于制订恰当有效的维护策略、保证油气输送管道长久安全来说有着非常关键的意义。借助前沿的无损检测技术和精密的数据分析策略，可以做到对管道缺陷演化轨迹展开实时预测与评价。

根据潜在问题的严重程度以及预期影响的评估，风险被系统地划分成高级，中级和初级三个级别。高风险的缺陷具有危险性，随时可能造成管道破裂或者泄漏的重大事故，所以需要马上对这类缺陷展开紧急的修补或者更换行动。中等风险的缺陷，要对其动态变化予以持续关注，一旦其状况到达影响安全的临界点，便应当及时安排维护工作。低风险的缺陷可以按照既定的时间安排来执行定期检查，从而保证其处于稳定的状态。

## 3 无损检测与管道全生命周期维护的协同

### 3.1 建设期检测对运行期维护的前置赋能

油气储运管道建设项目阶段，无损检测技术属于品质管理的主要手段，可以快速找到并确定管道材料和焊接环节里的各种潜在问题，保证系统的安全可靠。针对管道原材料的质量把控，运用超声检测和射线检测这些非破坏性检验技术，可以准确判断内部结构是否有裂纹，气孔以及夹杂物之类的潜在缺陷，以此保证所选管材完全符合设计规范和安全使用标准。借助于施工阶段的细密严谨的无损检测技术，我们可准确分辨并清除掉不合规格的管材及焊接接头，为后面的营运期安全高效的运行给予稳固保护。

建设阶段开展无损检测策略，目的在于前瞻性地找到并确定那些如果不及时加以干预可能会慢慢变成大问题的潜在缺陷，形成有效的早期预警系统，保证系统的安全性与可靠性。对于在建设阶段并未直接造成危险，但具备一定发展趋势的潜在缺陷，在运行阶段建立起并执行一套准确的预警指标体系就变得极为关键。运行期间要执行持续监控并追踪指标变动走向，一旦察觉数值接近警戒临界点，就要马上发出警示信号。为此，运维团队应当具有前瞻性地去关注早期干

预的策略，诸如强化日常监测活动的执行力度，预防性维护计划的开展等，期望能够在管道系统性能下降之前就提前识别出潜在的问题，进而避免小问题变成大麻烦，保障管道系统的稳定运转和使用寿命，减少它在使用过程中所遇到的安全隐患以及经济损失。

### 3.2 运行期检测与维修决策的闭环联动

经过严格的专门的数据分析和评价程序之后，得到的无损检测数据成了塑造科学精确的维修策略的稳固根基和有力支持。依靠数据挖掘技术同机器学习算法的融合使用，对海量的检测数据展开细致的剖析，可以准确地分辨并判定缺陷的种类及其严重程度，还能预先推测这些缺陷大概会朝着什么方向发展，进而给出更加超前且精准的评估和预估。

通过比较历史检测数据同现在的数据，再结合管道的运行状况，材料特性等关键要素，我们可以全面地评判某个缺陷给管道的整体结构完整性和安全性能带来的影响强度。依靠细致的分析成果，运维团队就可以针对各类别，各种严重程度的缺陷制定专门的维修策略，清楚地确定维修的优先顺序，选用的维修技术以及需要调配的资源，这样就能保证维修行动有目的性，效率大幅提高。

运行期间检测与维修决策的闭环联动当中，每次检测得到的结果，维修策略的拟定及执行效果都被详尽地记录下来并加以评估，以便于不断改善和完善整个流程。而这些宝贵的反馈信息，在加入到整个运营维护体系之后，就能持续促使无损检测技术得以提升，并使维修策略得到改良，从而让系统整体性能和可靠性获得显著提升。

通过对成功的维修事例展开细致分析，找出并归纳出最优化的实践策略，大量传播效能高、操作性强的维修技术和流程，目的在于全面提升运维体系的整体效能，保证检测及维修活动不断改进，正向迭代，从而为油气储运管道长久安全运行塑造更为牢固的安全屏障。

## 4 无损检测技术创新对管道安全升级的驱动

### 4.1 新型检测技术的工程化应用突破

激光超声检测技术是一种新颖的无损检测方法。在油气储运管道工程领域里，这项技术已经实现了工业化应用并得到普及。它借助高能激光脉冲来激发超声波，之后通过光学手段准确地检测到超声波的传播特性，从而达到对管道内部隐藏的瑕疵予以识别和评判的目的。激光超声检测技术具备非接触性，高精度以及高分辨率的优点，在应对高温，高压以及强腐蚀等极端环境中的管道检测任务时，显示出明显的优势。

分布式光纤传感技术在油气长输管道检测方面的

应用不断拓展，大大提升了管道安全监测的整体水平和覆盖范围。这种技术利用沿着管道敷设的光纤传感器，通过监测光纤内部光信号的波动状况，准确把握管道所承受的应力，温度等物理参数的动态变化情况，进而把这些数据当作基础去监测管道是否存在泄漏，形变或者其他潜在的缺陷。

### 4.2 智能化检测系统的效能提升路径

智能化检测系统性能改善的重点在于有效地处理并分析庞大数量的检测数据集合，凭借数据融合技术，可以对各种检测手段所获取到的有关信息执行综合整合和分析操作。数据融合的过程绝非简单的堆积动作，其间还牵涉到采用极为复杂的算法去提取来自不同数据来源的互补性信息，目的就是营造出一种更为全面且精准的管道状态表征。

数据挖掘技术的应用目的在于从整合起来的大量数据当中找出潜藏的内部规律。通过分析以前的数据找出某种运行状态之下管道受损模式的发展轨迹，进而探究不同种类的缺陷之间存在怎样的联系以及彼此怎样互相影响，这样做有助于预先察觉到管道可能出现的故障之处，从而给维运事务给予更具有预见性并且科学性的参考。

## 5 结语

无损检测技术在油气储运管道整个生命周期管理期间起到极为关键的作用，它是保证管道可以安全且稳定地运行的重要支撑体系之一，未来无损检测技术发展的方向将会朝着更加智能化、精度更高、效率更好等方向推进，不断变化和创新出来的检测技术及理念整合会极大改变油气储运管道的维护体系，这样做既给国家能源安全形成了牢固的根基，又给行业持久繁荣及高质量发展供应了不可或缺的动力。

### 参考文献：

- [1] 林长明. 我国油气管道运行维护技术的现状和展望 [J]. 化工设计通讯, 2018, 44(07):31.
- [2] 陈歆月. 油气管道运行维护技术研究进展及发展趋势 [J]. 当代化工研究, 2021(12):7-8.
- [3] 姚康, 徐峥, 应其文. 输油气管道自动化系统维护与管理措施 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019, 39(19):114-115.
- [4] 吕圆. 长输油气管道无损检测技术 [J]. 化学工程与装备, 2022(04):231-232+237.
- [5] 黄松岭. 油气管道缺陷在线检测关键技术与应用 [D]. 北京: 清华大学, 2013-01-20.

### 作者简介：

刘翠丽 (1989.05—)，女，汉族，江苏徐州人，大学本科，助理工程师，研究方向：无损检测。