

# 压力管道无损检测技术的常见问题与对策

黄 彪

中电建湖北电力建设有限公司 湖北武汉 430070

**摘 要：**压力管道无损检测技术在保障管道安全方面起着关键作用，但检测精度不足、方法适用性偏差、数据解读主观性和检测效率低下等问题仍然存在。本文探讨了通过引入先进检测技术、优化检测方案、建立标准化数据解读流程以及提升检测人员技术来解决这些问题的有效对策，以提升检测的整体效果和可靠性。

**关键词：**压力管道；无损检测技术；检测精度；检测效率

## 引言

压力管道是工业生产过程中必不可少的一部分，担负着各种介质输送的重任，它的安全运行对工业生产稳定性以及人员生命财产安全都有着直接影响。无损检测技术是确保压力管道质量至关重要的方法，它可以及时发现管道内部存在的不足与损坏，同时不会对管道结构造成损坏，从而为管道维修与保养提供科学依据。但是压力管道无损检测技术在实践中还存在很多问题，不仅会影响检测结果准确可靠，还会对管道安全运行造成潜在的危险。所以，对压力管道无损检测技术中普遍存在的问题进行深入的分析，并且针对这些问题提出行之有效的解决措施是非常有现实意义的。

## 一、压力管道无损检测技术概述

### 1. 主流检测技术分类与原理

压力管道无损检测技术主要包括射线检测（RT）、超声波检测（UT）、磁粉检测（MT）、渗透检测（PT）等四大常规检测方法，以及涡流检测（ET）、声发射检测（AE）等其他检测方法。

（1）射线检测：利用射线的穿透性，当射线穿透物质时，在物质中按一定规律衰减，使胶片感光程度不同，经暗室处理后产生不同黑度，根据底片上的黑度差判断缺陷情况并评价质量。它可获得缺陷的投影图像，定性定量准确，体积型缺陷检出率高，但适宜检测较薄工件，检测成本高、速度慢，且对人体有伤害。

（2）超声波检测：基于超声波遇到分界面会发生折射和反射的原理，利用仪器接收反射及折射的超声波信号并放大，得出管道缺陷信息。该技术对缺陷定量评价迅速，现场检查容易、解析方便、自动化程度高，适用于多种材料和零部件的检测。

（3）磁粉检测：利用铁磁将管道设备磁化，使管道表面及近表面产生漏磁场，吸引磁粉显现内部缺陷位置、大小和形状。它对表面和近表面缺陷检测灵敏度高，但只能检测铁磁性材料。

（4）渗透检测：将含有荧光剂或着色染料的渗透液浸润管道焊缝表面，利用毛细现象渗入表面开口缺陷，清除多余渗透液后施加显像剂，使缺陷处渗透剂重新回到表面形成放大显示，在白光或黑光灯下观察缺陷。该技术设备和操作简单，缺陷显示直观，但只能检测表面开口缺陷，且会对管道造成一定污染。

（5）涡流检测：通过使压力管道内部产生涡电流，根据管道内部电流情况确定管道缺陷情况。它可以检测管道内部的腐蚀情况，精确检测金属表面的缺陷，自动化程度高、检测速度快、成本低。

（6）声发射检测：利用动力学检测技术接收并分析压力管道材料的声发射信号，在外力作用下压力管道缺陷处会瞬间发射弹性波，利用传感器接受弹性波并放大，判定缺陷所在位置。该技术可以判断管道细微处的缺陷，有效提高检测精确性。

### 2. 技术选型原则

种无损检测方法具有不同的特点和适用范围，在实际应用中，应根据压力管道的材质、结构、缺陷类型和检测要求等因素，合理选择检测技术。例如，对于内部缺陷检测，可优先选用射线和超声方法；对于表面缺陷检测，可采用磁粉和渗透方法。同时，还应考虑检测成本、检测效率、环境因素等，确保检测技术的经济性和可行性。

## 二、常见问题与成因分析

### 1. 检测精度不足

射线检测在应对厚工件时，射线衰减加剧，小尺寸缺陷的影像在底片上难以清晰呈现，面积型缺陷也易被

遗漏，导致漏检风险上升。超声波检测对操作人员依赖性强，探头移动速度、角度偏差等细微操作失误，会使回波信号捕捉不准，影响缺陷定位与定量精度。部分检测设备因性能局限，如分辨率不够高、稳定性欠佳，难以精准捕捉微小缺陷信号。环境因素也不容忽视，强电磁场干扰超声波检测信号传输，温湿度变化影响射线检测胶片显影效果，降低检测图像质量。此外，检测标准执行不严格，参数设置不合理，同样会削弱检测精度，让一些潜在缺陷无法被及时发现，给压力管道安全运行埋下隐患，提升检测精度迫在眉睫。

## 2. 方法适用性偏差

压力管道无损检测中方法适用性偏差问题较为突出，射线检测虽能直观呈现缺陷投影图像，可面对角焊缝这类特殊结构，射线穿透路径复杂，不同角度缺陷影像重叠，难以准确判定缺陷性质与尺寸，检测效果大打折扣。磁粉检测对铁磁性材料管道的表面及近表面缺陷检测灵敏度高，但对于非铁磁性材料管道，如奥氏体不锈钢管道，无法产生磁痕显示，根本不能应用。渗透检测能检测表面开口缺陷，可对于表面粗糙、有涂层的管道，渗透液难以均匀覆盖，多余渗透液清除困难，易造成虚假显示，影响缺陷准确判断。超声波检测对薄壁小径管检测时，声束扩散、近场区影响大，信号反射复杂，易出现误判，若未依据管道实际状况合理选型与调整检测工艺，方法适用性偏差将使检测结果失真，无法为管道安全评估提供可靠依据。

## 3. 数据解读主观性

无损检测数据的解读往往依赖于检测人员的经验和判断，存在一定的主观性。不同的检测人员对同一检测数据可能会有不同的解读结果，这可能导致检测结论的不一致性。例如，在射线检测中，对于底片上的缺陷评定，不同的评片人员可能会因为经验和技术水平的差异，对缺陷的性质和严重程度做出不同的判断。

## 4. 检测效率低下

压力管道无损检测工作量通常较大，且检测环境复杂，受工期等因素影响，检测的全面性常得不到保障。例如，技术人员往往需在有限时间内完成对几百千米长输管道及公用管道的检测，可能导致重检、漏检事故频发。此外，一些检测方法的操作过程繁琐，也会影响检测效率。

## 三、压力管道无损检测技术常见问题的有效对策

### 1. 引入先进检测技术，提高检测精度

在压力管道无损检测领域，引入先进检测技术是提高检测精度的关键举措。首先，数字射线检测技术

(DR)的融入，为检测精度提升带来新契机。传统射线检测依赖胶片感光成像，存在成像速度慢、图像质量受多种因素影响等问题。而数字射线检测技术将射线穿透管道后的信号直接转换为数字图像，实现了成像的即时化。其图像分辨率高，能清晰显示管道内部的细微结构变化，对体积型缺陷的检测更为精准。并且，数字图像可进行多种后处理操作，如放大、增强、滤波等，进一步突出缺陷特征，帮助检测人员更准确地判断缺陷性质和严重程度，有效降低漏检和误判的概率。

相控阵超声检测技术通过控制多个阵元按一定规律激发和接收超声波，实现声束的灵活聚焦和偏转。这使得检测人员可根据管道的实际结构和缺陷位置，动态调整声束方向，对关键部位进行多角度、全方位检测，有效提高缺陷的检出率和定位精度，尤其适用于形状不规则、焊缝复杂的压力管道检测。

此外，将人工智能技术与无损检测技术深度融合，利用深度学习算法对大量的检测数据进行训练和分析，可自动识别缺陷特征，减少人为因素干扰，进一步提高检测结果的一致性和准确性。这些先进检测技术的引入，为压力管道无损检测提供了更强大的技术支撑，能更精准地发现管道潜在缺陷，保障压力管道的安全运行。

### 2. 优化检测方案，确保方法适用性

在压力管道无损检测工作中，优化检测方案以确保方法适用性是保障检测质量的核心环节。针对不同材质的压力管道，需精准匹配检测方法。对于铁磁性材料的管道，磁粉检测能凭借磁场作用使缺陷处形成磁痕，直观呈现表面及近表面缺陷，此时应将其作为表面缺陷检测的重要手段；而对于非铁磁性材料，如奥氏体不锈钢管道，磁粉检测失效，渗透检测则可大显身手，通过渗透液的渗入和显像剂的显示，准确找出表面开口缺陷。

管道的结构特点也是优化方案的关键考量因素。对于薄壁小径管，超声波检测中声束扩散、近场区影响大，传统检测方式易出现误判，采用衍射时差法超声检测技术，利用缺陷端点的衍射波信号进行检测和定位，能有效提高检测的准确性和可靠性。对于结构复杂的管道，如带有分支、弯头较多的管道，单一的检测方法往往难以全面覆盖，可综合运用多种检测技术，如射线检测用于检测焊缝内部缺陷，超声检测辅助检测近表面缺陷，形成优势互补。

同时，要充分考虑管道的运行工况。长期处于高温、高压、腐蚀环境下的管道，其缺陷形式和发展规律与常规工况不同，检测方案需增加检测频率，选用能检测微

小缺陷和早期损伤的先进技术，如激光超声检测技术，以适应特殊工况下对检测精度的要求，确保检测方法与管理实际情况高度适配，为压力管道的安全运行提供坚实保障。

### 3. 建立标准化数据解读流程，减少主观性

在压力管道无损检测里，建立标准化数据解读流程对减少主观性起着至关重要的作用。数据收集环节，需明确规定各类检测方法所对应的数据记录格式与内容要求。像射线检测，要详细记录底片的黑度、对比度等参数，以及缺陷在底片上的位置、形状和尺寸等信息；超声检测则要准确记录回波信号的幅度、波形特征、传播时间等数据，确保原始数据的完整性与准确性，为后续解读提供可靠基础。

数据预处理阶段，制定统一的标准去除噪声干扰、校正数据偏差。对于因设备性能或环境因素产生的异常数据，依据既定规则进行筛选和修正，保证数据质量的一致性。例如，在磁粉检测中，对显示不清晰的磁痕，通过调整光照强度、观察角度等方式进行标准化处理，避免因显示差异导致解读误差。

进入正式解读环节，依据管道材质、结构、检测目的等因素，制定详细的缺陷判定标准。明确不同类型缺陷的特征描述、尺寸界限以及严重程度分级，使解读人员有章可循。以渗透检测为例，对于线性显示和圆形显示的长度、宽度等尺寸参数，设定明确的合格阈值，解读时严格按照标准判断缺陷是否合格。

同时，建立数据解读审核机制，由经验丰富的专业人员对解读结果进行复核。通过多人交叉验证，进一步降低主观判断带来的偏差，确保检测结论的客观性和准确性，为压力管道的安全评估和维护决策提供科学依据。

### 4. 提升检测人员技术水平，提高检测效率

在压力管道无损检测工作中，提升检测人员技术水平是提高检测效率的关键所在，要定期组织全面且系统的专业培训，涵盖各类无损检测技术的理论知识，让检测人员深入理解射线、超声、磁粉、渗透等检测方法的原理、适用范围和局限性，为实际操作筑牢理论根基。同时，强化实践操作训练，设置模拟检测场景，让检测人员在真实环境中反复练习检测设备的操作技巧，如射线检测中胶片的选择与放置、曝光参数的设定，超声检测中探头的选择、扫查方式与速度的控制等，通过大量实践提升操作的熟练度和精准度，减少因操作不熟练导致的重复杂检测，从而节省检测时间。

鼓励检测人员积极参与行业技术交流活动，与同行分享经验、探讨难题，拓宽技术视野，及时了解行业最新动态和先进检测技术，将其引入实际工作中，优化检测流程。建立内部技术竞赛机制，激发检测人员的学习热情和竞争意识，促使他们主动钻研技术，不断提升自身能力。

此外，加强对检测人员的质量意识和效率意识教育，让他们深刻认识到检测工作的重要性和时效性，在工作中保持严谨认真的态度，严格按照检测标准和规范操作，避免因疏忽大意造成检测失误和返工。同时，培养检测人员的团队协作精神，在面对大型压力管道检测项目时，能够合理分工、密切配合，充分发挥各自的技术优势，形成高效的检测工作合力，进而显著提高整体检测效率，保障压力管道检测工作按时、高质量完成。

## 结论

综上，压力管道无损检测技术对于保障工业生产安全稳定运行意义重大，然而检测精度不足、方法适用性偏差、数据解读主观性强以及检测效率低下等问题，曾一度制约着检测工作的质量与成效。通过优化检测方案，依据管道材质、结构及运行工况精准匹配检测方法，确保了方法的适用性；建立标准化数据解读流程，制定详细缺陷判定标准并设置审核机制，有效减少了数据解读的主观性；加强检测人员培训，组织技术交流与竞赛，强化质量与效率意识，培养团队协作精神，切实提高了检测效率。未来，随着科技持续进步与行业不断发展，压力管道无损检测技术将不断创新完善。

## 参考文献

- [1] 石美真, 许子豪, 赵建如. 石油化工用压力管道的无损检测技术应用研究[J]. 锅炉制造, 2024(3): 53-54.
- [2] 包忠裕. 压力管道无损检测技术的应用探讨[J]. Engineering Science Research & Application, 2023, 4(11).
- [3] 蔡广明, 邓丽媛. 压力管道施工监督检验常见问题分析与控制措施[J]. 中国特种设备安全, 2024, 40(S2): 29-32.
- [4] 何承浩, 张家兴, 赵俊松, 等. 无损检测技术在压力管道检验中的运用研究[C]//2024年全国工程建设行业施工技术交流会论文集(下册). 2024.
- [5] 丁宁, 冯宇得, 郑俊斌. 无损检测技术在压力管道检验中的运用研究[J]. 机械与电子控制工程, 2023.