

# 压力管道检验技术研究

马 骁

内蒙古自治区特种设备检验研究院通辽分院 内蒙古 通辽 028000

**摘 要：**现代压力管道检验技术研究日益深入，为确保工业安全发挥了关键作用。随着技术的进步，如声发射检测、红外线热像检测以及基于机器学习与人工智能的检验技术，已显著提升管道检测的效率和准确性。这些先进技术不仅能实时监测管道状态，还能预测潜在问题，有助于及时采取维护措施，避免事故发生。因此，深入研究与应用现代压力管道检验技术，对保障工业生产安全具有重要意义。

**关键词：**压力管道；检验技术；研究

引言：压力管道作为工业生产的关键组成部分，其安全性与稳定性至关重要。随着工业技术的快速发展，对压力管道的检验技术也提出了更高的要求。本文旨在探讨现代压力管道检验技术的研究与应用，分析传统技术的局限性与现代技术的优势，并着重介绍声发射检测、红外线热像检测以及基于机器学习与人工智能的检验技术等前沿技术。通过深入研究，旨在为压力管道的安全运行提供更加可靠的技术支撑。

## 1 压力管道检验技术概述

### 1.1 压力管道的定义与分类

压力管道，作为一种重要的工业设备，主要承担着输送流体介质的任务，包括液体、气体或气液混合物等。这些流体在管道中流动时，往往具有一定的压力，因此这些管道被称为压力管道。压力管道广泛应用于石油、化工、电力、冶金、制药等各个工业领域，是工业生产过程中不可或缺的一部分。压力管道按材质可分为金属管道和非金属管道。金属管道主要包括碳钢、不锈钢、合金钢等，而非金属管道则包括塑料、玻璃、陶瓷等。按压力等级分，压力管道可分为低压、中压、高压和超高压等级别。这些不同的压力等级对应着不同的工作压力范围和安全要求。按用途分，压力管道可细分为给水管道、排水管道、热力管道、油气管道等，各类管道在工业生产中具有不同的功能和应用场景。

### 1.2 压力管道检验的必要性

压力管道检验的必要性主要体现在两个方面：（1）安全风险预防是压力管道检验的首要目的。由于管道内输送的介质往往具有易燃、易爆、有毒、有害等特性，一旦管道发生泄漏或破裂等事故，将给人员安全、环境保护和经济发展带来巨大威胁。因此，通过对压力管道进行定期检验，及时发现和消除安全隐患，对于保障工业生产安全至关重要。（2）延长管道使用寿命也是压力

管道检验的重要任务之一。随着时间的推移，管道材料会受到腐蚀、磨损、疲劳等因素的影响，导致管道性能下降和寿命缩短。通过对管道进行检验，可以了解管道当前的状态和性能，为制定维护保养计划提供依据，从而延长管道的使用寿命，降低生产成本。

### 1.3 压力管道检验技术的发展历程

压力管道检验技术的发展经历了从早期到现代的漫长历程。早期，人们主要依赖目视检查、敲击听声等传统方法对管道进行检验。这些方法简单易行，但准确度有限，且难以发现管道内部的缺陷和隐患。随着科技的进步和工业的发展，现代检验技术应运而生。超声波检测、射线检测、磁粉检测等无损检测技术逐渐被广泛应用于压力管道的检验中。这些技术具有检测效率高、准确度高等优点，能够发现管道内部的缺陷和隐患，为管道的安全运行提供了有力保障。近年来，随着计算机技术和人工智能技术的发展，基于机器学习和大数据分析的智能检验技术也逐渐崭露头角。这些技术能够对大量检测数据进行自动分析和处理，提高检验的准确度和效率，为压力管道的安全运行提供了更加可靠的技术支持。

## 2 压力管道常见失效模式与原因分析

### 2.1 失效模式的分类

压力管道在运营过程中，可能会因各种原因导致失效，这些失效模式通常包括以下几种类型：（1）泄露。泄露是压力管道最常见的失效模式之一。它指的是流体介质在管道内因各种原因而流出或泄漏到外部环境。泄露的原因可能包括管道连接件的松动、密封件的失效、管道壁的破损等。泄露不仅会导致资源的浪费，还可能引发环境污染和安全事故。（2）断裂。断裂是压力管道严重的失效模式，它通常发生在管道的薄弱部位或应力集中区域。断裂的原因可能包括材料的脆性断裂、疲劳断裂或应力腐蚀开裂等。断裂失效往往伴随着大量的

流体泄漏和能量的释放,对人员和设备安全构成极大威胁<sup>[1]</sup>。(3) 腐蚀。腐蚀是压力管道失效的另一种常见模式。它指的是管道材料与输送介质或外部环境发生化学反应,导致管道壁减薄或产生坑蚀、穿孔等现象。腐蚀失效会降低管道的承压能力和使用寿命,甚至引发泄露和断裂事故。(4) 疲劳破坏。疲劳破坏是指管道在交变应力或循环载荷作用下,因材料疲劳而引发的失效。疲劳破坏通常发生在管道的焊接接头、弯头、支管等部位。这些部位的应力集中和变形较大,容易发生疲劳裂纹和破坏。疲劳破坏的特点是破坏过程缓慢,但破坏后果严重。

## 2.2 失效原因分析

压力管道的失效原因多种多样,主要包括以下几个方面:(1) 材料问题。材料的性能和质量是影响压力管道安全的重要因素。如果管道材料存在缺陷或不足,如强度不够、韧性不足、抗腐蚀性差等,就容易导致管道在运营过程中发生失效。此外,材料的老化、脆化等也会导致管道性能下降,引发失效。(2) 设计缺陷。设计缺陷是导致压力管道失效的另一个重要原因。设计缺陷可能包括管道结构不合理、应力集中区域未妥善处理、选材不当等。这些设计缺陷会使管道在承受载荷时产生过大的应力和变形,从而引发失效。(3) 安装施工问题。安装施工的质量对压力管道的安全运营至关重要。如果安装过程中存在焊接缺陷、紧固件松动、安装位置不正确等问题,就会导致管道在运营过程中产生应力集中和变形,从而增加失效的风险。(4) 外界环境影响。外界环境对压力管道的影响也不容忽视。环境因素如温度、压力、介质性质等的变化可能导致管道材料的性能变化或损坏。此外,地震、洪水等自然灾害也可能对管道造成破坏或损伤,导致失效的发生。

## 3 传统压力管道检验技术及其局限性

### 3.1 目视检查

目视检查是压力管道检验中最基础、最直接的方法之一。它依赖于检验人员的视觉和触觉,对管道的外观、焊缝、连接件等部位进行仔细观察,以发现可能的缺陷或损伤。目视检查虽然简单易行,成本较低,但其局限性也显而易见。首先,目视检查只能发现管道表面的缺陷,对于管道内部的损伤或隐患往往难以发现。其次,目视检查的效果受到检验人员经验和技术水平的影响,检验结果存在一定的主观性和不确定性。此外,目视检查还受到环境因素的限制,如光照不足、视野不佳等都可能影响检验的准确性。

### 3.2 超声波检测

超声波检测是一种利用超声波在材料中传播时遇到

缺陷会产生反射、折射和衰减的原理,对材料进行无损检测的技术。在压力管道检验中,超声波检测主要用于检测管道内部的缺陷,如裂纹、夹渣、气孔等。超声波检测具有检测速度快、灵敏度高、可检测深度大等优点,但也存在一些局限性。首先,超声波检测对于平行于波束的缺陷或不规则缺陷可能存在漏检情况。其次,超声波检测的结果解读需要专业的知识和技能,对于非专业人员来说可能存在一定的难度。此外,超声波检测设备的成本较高,操作和维护也需要一定的专业技能<sup>[2]</sup>。

### 3.3 射线检测

射线检测是利用射线(如X射线、 $\gamma$ 射线等)穿透物质后产生不同强度或密度变化的影像来发现材料中缺陷的一种方法。在压力管道检验中,射线检测主要用于检测管道焊缝的缺陷。射线检测具有直观、准确、可记录等优点,但同样存在一些局限性。首先,射线检测对人员和设备的安全要求较高,需要在专门的射线防护区域内进行。其次,射线检测对于厚度较大的材料可能存在穿透能力不足的问题,导致深层缺陷的漏检。此外,射线检测还会产生放射性废物,对环境造成一定的污染。

### 3.4 磁粉检测

磁粉检测是利用磁化材料在缺陷处形成磁通泄露并在材料表面吸附磁粉的现象来发现缺陷的一种方法。在压力管道检验中,磁粉检测主要用于检测铁磁性材料的表面或近表面缺陷。磁粉检测具有设备简单、操作方便、灵敏度高等优点,但也存在一些局限性。首先,磁粉检测仅适用于铁磁性材料的检测,而非磁性材料的检测效果不佳。其次,磁粉检测的检测结果易受油污、铁锈等因素的影响,需要进行适当的表面清洁和处理。此外,磁粉检测还容易受到其他磁场或磁性物质的干扰,影响检测结果的准确性。

### 3.5 传统技术的局限性与挑战

传统压力管道检验技术虽然在一定程度上能够发现管道的缺陷和隐患,但也存在一些局限性和挑战。首先,传统技术往往只能检测管道的某个方面或某个层次的缺陷,难以全面评估管道的安全状况。其次,传统技术的检测结果往往受到人为因素的影响,如检验人员的经验、技术水平等都会对检测结果产生影响。此外,传统技术还需要依赖特定的设备和场地,限制了其应用范围和效率。面对日益复杂多变的压力管道环境和安全问题,传统技术已经难以满足现代工业生产的需求,因此需要不断探索和发展新的检验技术和方法。

## 4 现代压力管道检验技术研究

### 4.1 声发射检测技术

(1) 技术原理。声发射检测技术 (Acoustic Emission Testing, AET) 是基于材料在受到应力作用时产生应力波 (即声发射信号) 的原理, 通过对这些信号的采集、分析和处理, 来评估材料内部是否存在缺陷或损伤的一种无损检测技术。在压力管道中, 由于管道受到压力、温度变化或外部载荷的影响, 可能会出现微小的损伤或缺陷, 这些损伤和缺陷会产生应力波 (即声发射信号), 通过检测这些信号, 可以判断管道的健康状况。(2) 应用范围及优势。声发射检测技术在压力管道检验中具有广泛的应用范围。它可以用于实时监测压力管道的运营状况, 对于检测难以接触到的区域和复杂的管道结构, 如弯头、法兰、阀门等处的缺陷非常有效。此外, 声发射检测还具有实时监测和长期监测的能力, 可以及时发现管道的潜在问题, 避免事故的发生。声发射检测技术的优势在于其高灵敏度和高可靠性。由于声发射信号是材料内部产生的, 因此能够直接反映材料的实际状况, 不受材料表面状况和环境因素的影响。此外, 声发射检测还能够对管道进行全方位、多角度的检测, 提高检测的全面性和准确性。

#### 4.2 红外线热像检测技术

(1) 技术原理。红外线热像检测技术 (Infrared Thermography, IRT) 是一种通过捕捉和分析物体表面的热辐射来评估其温度分布状况的技术。在压力管道检测中, 利用红外线热像仪可以捕捉到管道表面的温度差异, 进而判断管道内部是否存在异常。例如, 当管道内部存在泄漏或堵塞时, 泄漏部位或堵塞上游部位的温度会出现异常变化, 这些异常变化会被红外线热像仪捕捉并记录下来。(2) 在压力管道检测中的应用。红外线热像检测技术可以用于快速定位和识别管道的泄漏点和堵塞部位。通过对比分析管道表面的温度分布图, 可以直观地了解管道的健康状况, 为后续的维修和保养提供指导。此外, 红外线热像检测技术还可以用于评估管道的保温性能, 确保管道在运营过程中具有良好的保温效果<sup>[1]</sup>。

#### 4.3 基于机器学习与人工智能的检验技术

(1) 技术概述。随着机器学习和人工智能技术的快速发展, 其在压力管道检验领域的应用也越来越广泛。

基于机器学习与人工智能的检验技术可以通过对大量检测数据的学习和分析, 自动识别和预测管道的潜在问题。这种技术结合了传统的无损检测方法和数据分析技术, 通过智能算法对检测数据进行深度挖掘和分析, 实现对管道的全面、精准检测。(2) 数据处理与模式识别。在基于机器学习与人工智能的检验技术中, 数据处理和模式识别是关键环节。首先, 需要对检测数据进行预处理和特征提取, 以提取出与管道健康状况相关的关键信息。然后, 利用机器学习算法对这些特征进行学习和训练, 构建出能够识别和预测管道潜在问题的模型。最后, 通过模型对新的检测数据进行预测和判断, 实现对管道的实时监测和预警。(3) 预测模型构建与验证。预测模型的构建和验证是基于机器学习与人工智能的检验技术的核心。在构建预测模型时, 需要选择合适的机器学习算法和参数设置, 并通过大量的实验数据进行训练和验证。同时, 还需要对模型的性能进行评估和优化, 以提高其预测的准确性和可靠性。在实际应用中, 可以通过与现有的传统检测技术进行比对和验证, 以确保预测模型的准确性和可靠性。

#### 结束语

压力管道检验技术研究已取得显著进展, 声发射检测、红外线热像等前沿技术为管道安全提供了坚实保障。这些技术的发展不仅提高了检验的效率和准确性, 也为预防潜在的安全隐患提供了有力支持。展望未来, 随着科技的不断革新, 相信会有更多创新技术应用于压力管道检验领域, 确保工业生产的安全稳定, 共同守护工业发展的安全底线。

#### 参考文献

- [1] 刘林勇. 压力管道检验检测技术的发展[J]. 化学工程与装备, 2022(10):211-213.
- [2] 车慧敏. 压力管道压力管道检验中裂纹问题的解决措施[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022, 42(10):43-45.
- [3] 马立东, 胡建启, 范鹏军, 杨娟莉, 魏建伟, 谷传超. 试论压力管道压力管道检验中的裂纹问题[J]. 石油化工建设, 2022, 44(02):96-98.