

试论无损检测技术在天然气管道的运用发展现状和作用

章顺立（江西省检验检测认证总院特种设备检验检测研究院，江西 南昌 330000）

摘 要：本文探讨无损检测技术在天然气管道运用发展现状及其所发挥重要作用，对无损检测技术基本原理介绍，结合天然气管道运行状况，了解面临挑战。分析无损检测技术在保障管道安全、提升运行效率、预防事故具体应用价值，指出当前无损检测技术在天然气管道应用发展趋势，提出相应建议。

关键词：无损检测技术；天然气管道；运用发展；安全性；作用

天然气作为清洁高效能源，在全球能源消费比重逐年上升。天然气管道作为输送天然气主要方式，其安全性至关重要。由于管道长期埋设于地下，暴露于自然环境，容易受到腐蚀、疲劳破坏等多种因素影响，引发安全事故。传统检测方法具有破坏性，难以对管道进行准确检测。无损检测技术作为一种非破坏性、高精度检测方法，在天然气管道检测领域得到广泛应用。

1 无损检测技术在天然气管道的运用优势

1.1 非破坏性检测

无损检测技术优势即其非破坏性，传统切割取样或压力测试检测，会对管道造成物理损伤，降低管道整体强度，引发新安全隐患。无损检测技术能在不破坏管道前提下，对管道内部和外部状况进行全面检测，确保管道完整性。

1.2 高精度与高灵敏度

无损检测技术具有高精度和高灵敏度特点，例如超声波检测、射线检测，准确识别出管道微小缺陷，如裂纹、气孔、夹杂等。高精度检测能力有助于及时发现潜在安全隐患，采取有效维修措施，防止事故发生。

1.3 检测效率高

与传统检测方法相比，无损检测技术具有更高检测效率。许多无损检测方法可实现自动化或半自动化操作，提高检测速度。先进无损检测设备具备实时数据处理能力，迅速给出检测报告，为管道维修决策提供及时准确信息支持。

1.4 广泛的应用范围

无损检测技术应用范围广泛，对于金属管道、非金属管道还是复合管道都能有效发挥作用。无损检测技术应用于管道不同阶段，如制造阶段、安装阶段、运行阶段，为管道全生命周期管理提供有力支持。

1.5 降低运营成本

通过无损检测技术对天然气管道进行定期检测维

护，及时发现修复潜在安全隐患，避免事故发生。减少因事故造成直接经济损失，避免因事故导致生产中断。无损检测技术帮助优化管道维修策略，减少不必要维修更换工作，降低运营成本。

2 无损检测技术的基本原理

2.1 声学原理

声学原理在无损检测应用超声波检测，超声波是一种频率高于人耳可听范围声波。当超声波在材料中传播时，遇到缺陷或界面产生反射、折射现象。通过测量超声波传播时间、幅度和相位等参数变化，推断出材料内部缺陷情况。

2.2 光学原理

光学原理在无损检测中应用于目视检测、红外检测等，目视检测利用人眼视觉功能检查材料表面缺陷，红外检测利用红外热像仪测量材料表面温度分布，从而发现材料内部缺陷异常。

2.3 电磁学原理

电磁学原理在无损检测中应用于射线检测、磁粉检测等，射线检测是利用X射线或 γ 射线穿透材料时，不同材料对射线吸收散射程度不同，在荧光屏或胶片上形成不同黑度图像，显示材料内部缺陷。磁粉检测利用磁场与铁磁性材料相互作用，当材料表面或近表面存在缺陷时，在缺陷处形成漏磁场，吸引磁粉聚集，显示缺陷位置形状。

3 无损检测技术在天然气管道的应用发展现状

3.1 无损检测技术在天然气管道的早期应用

在天然气管道建设早期阶段，由于技术水平限制，管道安全性问题备受关注。传统检测方法虽然在一定程度评估管道状态，但存在破坏性、效率低下等问题。因此，无损检测技术引入成为解决这些问题关键。早期阶段，射线检测和超声检测是两种常见无损检测方法。射线检测利用X射线或 γ 射线穿透能力，对管道进行透视检查，发现管道内部异物。但射线检测设

备庞大复杂性，其应用受到一定限制。超声检测通过超声波在管道传播特性检测缺陷，这种方法具有非破坏性、灵敏度高等优点。早期超声检测设备相对简单，操作便捷，因此在天然气管道检测中得到广泛应用。通过超声波反射传播参数，对管道裂纹、气孔等缺陷进行有效识别。

无损检测技术在天然气管道应用中取得显著效果，能在不破坏管道前提下提供关于管道内部状态准确信息，及时修复潜在安全隐患。提高管道安全性，降低事故发生概率。为后续技术发展和改进奠定基础，随着科技进步创新，无损检测技术将在天然气管道领域发挥重要作用^[1]。

3.2 当前无损检测技术在天然气管道的应用状况

当前无损检测技术广泛应用于天然气管道各环节，从原材料质量控制、管件的加工制造，到管道安装、在役检测等各阶段。得益于无损检测方法多样性，包括超声检测、射线检测、磁粉检测、涡流检测，可互补使用，满足不同材质、不同规格管道检测需求。现代超声波检测设备具有更高分辨率，准确识别出管道各种微小缺陷，如裂纹、气孔、夹渣等。结合先进信号处理技术，无损检测自动化水平不断提升，提高检测效率^[2]。

虽然无损检测技术在天然气管道中取得显著应用效果，但仍然面临挑战局限性。例如，对于厚壁管道检测，传统无损检测方法难以达到理想检测深度。天然气管道通常处于恶劣环境中，如高温、高压、腐蚀等，对无损检测设备耐久性提出更高要求。

3.3 具体的案例分析：X 射线检测技术、超声波检测技术在天然气管道中的应用

3.3.1 X 射线检测技术在天然气管道中的应用

某天然气长输管道在运行多年后为确保其安全性，决定采用 X 射线检测技术对管道焊缝进行无损检测。

检测团队对管道进行全面初步检查，确定需要进行 X 射线检测关键焊缝位置。根据管道材质、厚度以及现场环境条件，选择合适 X 射线检测设备参数。在确定检测位置，检测人员使用 X 射线发生器发射高能 X 射线。射线穿透管道壁后，被放置在管道另一侧接收器捕获。接收器将接收到射线信号转换成数字图像，清晰显示管道内部结构和可能存在缺陷。通过对数字图像专业分析，检测团队能准确识别出管道焊缝中气孔、夹渣、裂纹等缺陷。缺陷如不及时发现处理，会导致管道泄漏甚至爆炸等严重后果。此次 X 射线检测

成功发现多处潜在焊缝缺陷，为后续维修加固工作提供准确依据。通过这次检测，提高管道安全性，延长管道使用寿命。

3.3.2 超声波检测技术在天然气管道中的应用

另一条高压天然气管道在进行定期检测时，考虑到其运行高压，采用超声波检测技术对管道进行全面无损检测。检测团队对管道进行详细分析，确定需要进行超声波检测关键区域。根据管道特性，选择合适超声波探头。在检测过程中，检测人员使用超声波探头在管道表面进行扫描。探头发射出超声波信号在遇到管道内部缺陷时，产生反射信号，被探头接收并转换成电信号显示。对这些电信号分析处理，可获取管道内部详细信息。

3.4 无损检测技术在天然气管道应用中存在的问题和挑战

3.4.1 技术局限性

不同天然气管道材料具有差异性声学、电磁学等物理特性，对无损检测技术应用提出挑战。例如，某些非金属材料对超声波传播与金属材料不相匹配，导致常规超声检测方法无法有效应用。天然气管道几何形状复杂性，如弯头、三通、阀门等部件存在，导致无损检测信号衰减散射，影响检测结果准确性。

3.4.2 环境和操作条件

天然气管道埋设在地下或暴露于恶劣外部环境，如高温、低温、高压、腐蚀等。这些条件影响无损检测设备稳定性，对检测人员构成安全威胁。某些情况下，无损检测设备安装操作空间受到限制，如管道周围狭窄空间或密集设备布局。增加检测难度复杂性，影响检测结果准确性。

3.4.3 经济考虑

先进无损检测设备价格昂贵，对小型或经济条件有限管道运营商造成过大压力。无损检测设备需要定期维护校准，保持其性能，进一步增加运营商经济负担。

3.4.4 人力和资源限制

无损检测技术有效应用需要专业操作人员，目前市场上具备相关技能和经验 NDT 专业人员相对匮乏，培训成本较高。无损检测技术发展，产生数据量不断增加。有效处理分析数据，获取有关管道状况准确信息是一个挑战，需要专业软件人员支持。

4 无损检测技术在天然气管道的作用和价值

4.1 无损检测技术在保证天然气管道安全性中的作用

无损检测技术如超声检测、X 射线检测等精确识

别管道缺陷,例如超声检测分析超声波在管道传播时间,准确判断缺陷位置大小。X射线检测对管道内部进行透视,直接观察缺陷形态分布。腐蚀是天然气管道面临主要威胁,无损检测技术电化学方法可有效监测管道腐蚀情况。通过定期检测,获取管道腐蚀速率、腐蚀深度等关键数据,为防腐措施制定提供有力支持。基于无损检测技术获取数据,对管道剩余寿命进行科学评估。对比历史数据和当前检测数据,结合管道材质、运行环境等因素,预测管道未来性能变化趋势,为管道维护管理提供决策依据。以某高压天然气管道为例,该管道在运行多年后采用无损检测技术进行全面检测。通过超声检测和X射线检测,成功发现多处焊缝缺陷、腐蚀区域。最大一处缺陷深度达到管道壁厚30%,管道运营商及时进行维修加固,避免潜在安全事故。

例如,超声检测技术可实现对管道壁厚减薄精确测量,精度通常可达到0.1毫米。现代化无损检测设备具备快速扫描能力,可在短时间内覆盖长距离管道,以每秒数米速度对管道进行连续扫描。在使用软件前通过无损检测设备(如超声探头、射线源等)采集原始信号或图像数据,数据通常以数字格式保存,通过接口或存储设备导入到数据处理软件中。软件根据预设算法或用户自定义参数对数据进行分析,涉及信号波形识别、图像特征提取、模式匹配等步骤。通过分析,软件自动检测潜在的缺陷。一旦发现潜在的缺陷,软件会对其进行标记,在信号波形上标出异常点或在图像上圈出异常区域。根据缺陷特征对其进行分类,如裂纹、腐蚀、夹杂等。软件以直观方式展示检测结果,包括缺陷位置、大小、类型等信息。通过图形化界面、表格、图像叠加等形式实现。高级数据处理软件提供数据管理功能,允许用户组织、存储检测数据,便于用户追踪管道长期健康状况,进行趋势分析。

4.2 无损检测技术在提升天然气管道运行效率中的作用

传统管道检测方法需要停机或进行挖掘等破坏性操作,影响管道正常运行,增加维修成本。无损检测技术可以在管道正常运行情况下进行检测,无需停机或挖掘,减少维修停机时间。及时发现定位潜在问题,迅速采取维修措施,避免问题扩大导致长时间停机,确保天然气供应连续性。无损检测技术提供关于管道状况详细数据,包括缺陷位置、大小。基于这些数据制定精确维修策略,避免不必要维修更换。例如,对轻微腐蚀或磨损区域,采取局部修复措施,无需更换整

个管道。节省维修成本,减少因更换管道而导致停机时间。通过定期无损检测,及时发现并处理潜在故障隐患,防止小问题发展成大问题。例如,对焊缝中微小裂纹或管道壁薄弱区域,如果不及时发现处理,导致泄漏或爆炸等严重后果。无损检测技术可在潜在故障发展成大问题前发现,从而采取及时有效措施修复。

4.3 无损检测技术在延长天然气管道使用寿命中的作用

天然气管道在运行过程中,受到各种因素影响产生潜在缺陷。无损检测技术对管道剩余寿命进行评估,对管道材料性能、壁厚、腐蚀程度等关键指标进行检测分析,了解管道实际状况,预测其未来性能变化趋势。基于评估结果,制定科学维护管理策略,延长管道使用寿命。传统管道维修需要停机或挖掘等破坏性操作,影响管道正常运行,增加维修更换成本。无损检测技术在管道正常运行情况下进行检测,无需停机挖掘。及时发现并处理潜在问题,避免不必要维修更换,降低维修更换成本,延长管道使用寿命。无损检测技术提供数据为管道维护管理提供科学依据,对历史数据和当前检测数据分析,了解管道性能变化趋势,预测出现问题。

4.4 无损检测技术在预防和减少事故中的作用

当天然气管道发生事故时,准确分析事故原因对于防止类似事故再次发生至关重要。无损检测技术对事故管道进行全面分析,准确判断事故性质。例如,通过超声检测,分析管道壁厚度变化、裂纹扩展等关键信息,为事故原因准确分析提供有力支持。为后续维修加固提供科学依据,防止类似事故再次发生。无损检测技术对天然气管道事故风险进行科学评估,对管道全面检测,了解管道实际安全性能,迅速确定事故范围,为救援抢修提供决策支持。

5 结束语

综上所述,随着科技不断进步和能源需求日益增长,天然气管道安全运行尤为重要。无损检测技术作为保障管道安全重要手段,其在天然气管道领域运用已经取得显著成效。从最初简单检测到如今高精度检测,无损检测技术提高管道检测效率,为管道管理提供有力数据支持。

参考文献:

- [1] 胥卫东,赵春.大管径天然气管道焊缝隐患治理无损检测工艺研究[J].石化技术,2022,29(4):79-80.
- [2] 钟国春.论无损检测技术在天然气管道中的应用[J].中国化工贸易,2022(35):88-90.