

# 承压类特种设备无损探伤技术及运用分析

鲁 宁

江苏省特种设备安全监督检验研究院 江苏 南京 211500

**摘 要：**承压类特种设备无损探伤技术正迈向技术创新与智能化新时代。新兴技术不断涌现，多技术融合与集成提升检测精度与效率。自动化、人工智能及物联网技术的融合，推动无损探伤向智能化转型。未来，该技术将在更广泛领域应用，助力环保与可持续发展，同时受法规标准推动，实现标准化、规范化发展，确保设备安全，提升生产效率。

**关键词：**承压类特种设备；无损检测；现状

## 1 无损检测技术的概念及特点

无损检测技术主要是利用声光原理检测物体和设备中的缺陷，然后根据检测结果确定缺陷的位置和信息，最终确定被检测物体的缺陷。其主要特点体现为：（1）非破坏性，在获得检测结果的同时，剔除不良品外，无零件损耗。检验规模不受零件数量的限制。必要时可进行抽样检验和一般检验，具有灵活性和可靠性。（2）相互兼容，检验方法的相互兼容性，即同一零件可以同时或依次使用不同的检验方法；同样的检查可以重复进行，这也是非破坏性的好处。（3）动态，无损检测方法可以对使用中的零件进行检测，并能及时检测产品运行的累积影响。因此，可以确定结构的破坏机制。（4）严格，严密性是指无损检测技术的严密性。无损检测需要专门的仪器和设备，以及经过专门培训的检验员，按照严格的规章和标准操作。（5）检测结果分歧性，不同的测试者对同一试样可能有不同的测试结果。尤其在超声波检验中，同一检验项目应由两名检验员完成。

## 2 特种设备无损检测的重要性分析

特种设备，作为工业生产、交通运输、能源供应及公共事业等领域中不可或缺的关键设备，其安全性与可靠性直接关系到人民生命财产的安全及社会稳定。对特种设备进行定期、专业的无损检测，不仅是确保其安全运行的必要手段，也是预防事故、保障生产顺利进行的重要基石<sup>[1]</sup>。

重要性分析；无损检测能够在不破坏设备结构和使用寿命的前提下，发现并评估设备内部的缺陷、裂纹、腐蚀等潜在问题。这些隐患若及时发现和处理，极有可能在设备运行过程中突然释放能量，引发爆炸、泄漏、断裂等严重事故。通过无损检测，可以早期预警，采取相应措施，有效预防事故发生，保障人员安全。定期的无损检测可以全面了解设备的健康状态，为设备维

护、保养和维修提供科学依据。基于检测结果，可以制定针对性的维护计划，及时修复或更换受损部件，从而延长设备使用寿命，提高设备的整体可靠性和运行效率。各国对特种设备的安全管理都有严格的法律法规要求，其中无损检测是确保设备合规性的重要环节。企业若未能按规定进行无损检测或隐瞒检测结果，将面临法律制裁和经济损失。积极开展无损检测工作，不仅是企业履行社会责任的体现，也是避免法律风险、维护企业声誉的必要措施。随着无损检测技术的不断进步，如超声波检测、射线检测、磁粉检测、渗透检测以及新兴的激光、红外热成像等技术的应用，不仅提高了检测的精度和效率，还推动了相关产业的技术创新和产业升级。通过无损检测技术的应用，可以更加精准地评估设备性能，为设备的设计、制造和改造提供有力支持。特种设备的高效、安全运行对于节能减排、实现绿色发展目标具有重要意义。通过无损检测及时发现并处理设备问题，可以避免因设备故障导致的能源浪费和环境污染。

## 3 承压类特种设备无损探伤技术

### 3.1 射线检测类型

射线检测，作为承压类特种设备无损探伤的重要手段之一，主要利用X射线、 $\gamma$ 射线和中子射线等不同类型的射线，通过透射物体后产生的强度差异来探测内部缺陷。在承压设备的焊缝、板材及管材等部件的检测中，X射线和 $\gamma$ 射线尤为常用。这些射线能够穿透物体，并在遇到内部缺陷（如气孔、夹渣、裂纹等）时，由于吸收和散射作用的不同，导致透过射线强度的变化。通过检测透射后的射线强度分布，并在胶片上形成黑度不同的影像，可以直观地观察到缺陷的形状、大小和位置。射线检测的主要优点在于其检测结果具有直接记录性，即底片可以长期保存，并提供丰富的检测信息，射线检测对于气孔、夹渣等三维型缺陷具有较高的检出率，尤其

适合检测较薄的工件。

### 3.2 磁粉检测与渗透检测类型

磁粉检测 (MT) 和渗透检测是承压类特种设备表面及近表面缺陷检测的重要方法。磁粉检测主要针对铁磁性材料, 如铁、钴、镍及其合金等。在检测过程中, 首先对被检工件进行磁化, 使其内部产生很强的磁感应强度。当磁力线通过材料中的缺陷位置时, 会产生畸变并形成漏磁场。在材料表面撒上磁粉, 磁粉在漏磁场的作用下形成磁痕, 从而直观地显示出缺陷的位置和形状。磁粉检测具有检测灵敏度高、可检测出微小裂纹等微小缺陷的优点, 且只能用于铁磁性材料的表面及近表面检测。它难以检测几何结构复杂的工件, 且检测结果易受工件表面状况的影响。渗透检测则是利用毛细现象和显像剂的作用, 在工件表面涂抹或喷涂渗透剂, 经过一定时间后, 用清洗剂除去表面多余的渗透剂, 并干燥工件。在工件表面施加显像剂, 渗透剂会从缺陷处渗出并被显像剂吸附, 从而显示出缺陷的轮廓<sup>[2]</sup>。渗透检测不受工件磁性、形状、大小、组织结构及缺陷方位的限制, 一次操作能检查出各个方向的缺陷, 且操作简便、设备简单。在承压类特种设备中, 渗透检测多用于奥氏体不锈钢设备的表面缺陷检测。

### 3.3 超声检测类型

超声检测技术 (UT) 在承压类特种设备的无损探伤中占据重要地位。它利用超声波在物体中的传播特性 (如散射、反射和衍射等) 来检测物体的内部缺陷。超声波检测具有穿透能力强、检测灵敏度高的特点, 能够探测到受检件内部数米深的缺陷情况。在承压类特种设备中, 超声检测常用于焊缝内部埋藏缺陷和焊缝内表面裂纹的检测, 以及压力容器件和高压螺栓等部件的裂纹检测。超声检测技术具有多种方法, 如脉冲反射法、穿透法及共振法等, 其中脉冲反射法最为常用。该方法通过发射超声波并接收其反射信号来评估物体的内部状况。超声检测技术不仅操作方便、对人体伤害小, 而且随着技术的不断进步, 如TOFD (衍射时差法超声检测) 等先进技术的出现, 使其在复杂结构件和盲区位置缺陷的检测中展现出更高的效率和可靠性。

### 3.4 低频率电磁检测类型

低频率电磁检测 (Low Frequency Electromagnetic Testing, LFET) 是一种利用低频率电磁场与金属材料相互作用原理来检测材料内部缺陷或变化的技术。在承压类特种设备中, 该技术常用于检测焊缝、板材以及管道等部件的腐蚀、裂纹以及金属组织结构的变化。低频率电磁检测通过在被测材料表面施加低频率电磁场, 观察电磁

场分布的变化来推断材料内部的状况。当材料内部存在缺陷时, 如裂纹或腐蚀坑, 它们会扰乱电磁场的正常分布, 从而产生可测量的信号变化。LFET技术的优势在于其非接触性、快速性以及大面积检测能力。它可以在不破坏材料表面的情况下, 对复杂形状和难以接近的区域进行有效检测。该技术对于检测金属材料的早期腐蚀和应力腐蚀开裂等微观缺陷具有较高的灵敏度, 低频率电磁检测也面临一些挑战, 如信号解释复杂、对材料类型和几何形状敏感等, 需要检测人员具备较高的专业知识和技能。

### 3.5 声发射检测技术

声发射检测技术 (Acoustic Emission Testing, AET) 是一种基于材料内部缺陷在应力作用下释放瞬态弹性波 (即声发射信号) 的检测方法。在承压类特种设备中, 声发射检测常用于监测设备在运行过程中的动态缺陷变化, 如裂纹的萌生、扩展以及疲劳损伤等。该技术通过在设备表面布置传感器阵列, 捕捉并分析由内部缺陷释放的声发射信号, 从而实现了对设备健康状况的实时监控。声发射检测技术的优点在于其实时性、动态性和高灵敏度。它能够在设备正常运行期间连续监测缺陷的变化情况, 为预防突发事故提供重要信息, 该技术还具有较高的定位精度, 能够准确指示缺陷的位置和大小。声发射检测也受到一些限制, 如信号易受环境噪声干扰、对材料特性和应力状态敏感等, 需要采取适当的措施来提高检测结果的准确性和可靠性。

### 3.6 涡流检测技术

涡流检测技术 (Eddy Current Testing, ECT) 是一种利用电磁感应原理来检测导电材料表面及近表面缺陷的无损检测方法。在承压类特种设备中, 涡流检测常用于检测金属管道、容器以及换热器等部件的腐蚀、裂纹以及涂层质量等。该技术通过在被测材料表面放置一个交变磁场激励线圈, 产生涡流场。当材料表面或内部存在缺陷时, 涡流场会受到扰动并产生变化, 这些变化通过检测线圈转化为电信号进行分析和处理。涡流检测技术的优点在于其非接触性、检测速度快以及适用于导电材料的广泛检测范围。它能够快速扫描大面积区域并准确识别出微小缺陷, 如腐蚀坑、裂纹等。该技术还具有较高的自动化程度, 可以与计算机和图像处理技术相结合实现自动检测和数据处理, 涡流检测也受到一些因素的影响, 如材料导电性、厚度变化以及提离效应等, 需要在实际应用中加以注意和校正<sup>[3]</sup>。

## 4 承压类特种设备无损探伤技术未来发展趋势

### 4.1 技术创新与发展

#### 4.1.1 新兴技术的不断涌现

未来,承压类特种设备无损探伤技术将持续迎来技术创新的高潮。一方面,传统无损探伤技术如超声波检测、射线检测等将不断优化和完善,提高检测精度和效率;另一方面,新兴技术如红外检测、激光检测、微波检测等将逐渐成熟并应用于承压类特种设备的检测中。这些新兴技术以其独特的检测原理和优势,为无损探伤领域注入了新的活力。

#### 4.1.2 多技术融合与集成

随着技术的不断发展,多种无损探伤技术的融合与集成将成为未来的一大趋势。通过集成多种检测技术,可以实现对承压类特种设备内部和外部缺陷的全面、精准检测。多技术融合还可以提高检测效率,降低检测成本,为设备的维护和安全评估提供更加高效、经济的解决方案。

#### 4.1.3 高精度、高分辨率检测技术的发展

随着制造业对产品质量要求的不断提高,高精度、高分辨率的无损探伤技术将成为未来发展的重点。这些技术能够更加准确地揭示设备内部的微小缺陷和变化,为设备的精确维修和早期故障预警提供有力支持。

### 4.2 智能化无损探伤技术

#### 4.2.1 自动化检测系统的普及

随着人工智能、大数据等技术的不断发展,智能化无损探伤技术将成为未来的主流。自动化检测系统能够自动完成检测任务、分析检测数据并生成检测报告,极大地提高了检测效率和准确性。自动化检测系统还可以实现远程监控和实时数据传输,为设备的远程维护和故障诊断提供了便利。

#### 4.2.2 人工智能在无损探伤中的应用

人工智能技术在无损探伤中的应用将越来越广泛。通过机器学习、深度学习等算法,可以实现对检测数据的自动分析和处理,提高检测的智能化水平。人工智能技术还可以实现检测设备的智能预测性维护,降低设备故障率并提高生产效率。

#### 4.2.3 物联网与无损探伤的融合

物联网技术的快速发展为无损探伤技术的智能化提供了有力支持。通过将无损探伤设备与物联网技术相结合,可以实现对设备的实时监测和远程监控。当设备出现异常或缺陷时,物联网系统可以自动触发报警机制并通知相关人员进行处理。这种智能化的监测和预警机制

可以显著提高设备的安全性和可靠性,降低事故发生的概率<sup>[4]</sup>。

### 4.3 无损探伤技术的应用前景

#### 4.3.1 应用领域的不断拓展

随着工业技术的不断进步和应用领域的不断拓展,无损探伤技术的应用前景将更加广阔。除了传统的航空航天、石油化工、电力等领域外,无损探伤技术还将广泛应用于新能源、轨道交通、海洋工程等新兴领域。这些领域对设备的安全性和可靠性要求极高,无损探伤技术将在其中发挥重要作用。

#### 4.3.2 环保与可持续发展

随着全球环保意识的不断提高和可持续发展理念的深入人心,无损探伤技术将在环保领域发挥更加重要的作用。通过无损探伤技术检测设备和材料的环保性能,可以确保产品和生产过程符合环保要求。无损探伤技术还可以帮助企业 and 机构降低能耗和减少废弃物排放,实现可持续发展目标。

#### 4.3.3 法规与标准的推动

随着国内外相关法规和标准的不断完善和实施,无损探伤技术的应用将得到更加规范和有力的推动。法规和标准对无损探伤技术的要求越来越高,这将促使企业和机构不断提升技术水平和检测质量。同时法规和标准还将为无损探伤技术的标准化、规范化发展提供有力保障。

### 结束语

无损探伤技术作为承压类特种设备安全运行的守护者,其未来发展潜力巨大。技术创新与智能化趋势将引领行业迈向新高度,为工业生产提供更加可靠、高效的检测手段。有理由相信,随着技术的不断进步,无损探伤技术将在保障设备安全、促进产业升级方面发挥更加重要的作用。

### 参考文献

- [1]王守国.无损检测技术在承压类特种设备检验中的应用[J].检验检疫学刊,2020,(3).119-121.
- [2]汪海涛.无损检测技术在承压类特种设备检验中的运用分析[J].化工管理,2020,(21).175-176.
- [3]张立科,张国强.无损检测技术在承压类特种设备检验中的应用[J].科技创新导报,2019,(27).94-95.
- [4]陈映余.无损检测技术在压力容器检测中的应用研究[J].中国设备工程,2019(13):89-90.