

# 特种设备检验中无损技术的应用研究

孙峰 孙连升

威海市特种设备检验研究院

**摘要:** 特种设备检验是保证特种设备平稳运行,降低特种设备安全风险的重要环节,而无损技术则在特种设备检验中发挥着重要的作用。文章基于此,首先阐释了无损技术的内涵及其在特种设备检验中的意义,继而探讨了金属板材、管材、钢锻件、钢棒材及铸件等特种设备原材料检验中的无损技术,以表面检测技术、超声波检测技术等为例,剖析了特种设备制造过程以及在役特种设备检验中的无损技术,并提出了无损技术在特种设备检验中的应用对策。

**关键词:** 特种设备;无损技术;涡流检测技术;超声波检测技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.08.079

## 引言:

特种设备指具有一定危险性,涉及生命安全的设备,在日常生活、产业发展中发挥着重要的作用。根据国家质检总局印发的《特种设备目录》,特种设备包括承压类特种设备以及机电类特种设备两大类,常见的特种设备有锅炉、压力容器、电梯、索道等。特种设备对安全性有很高的要求,而加强特种设备检验则是最大限度降低特种设备安全风险的必然要求。特种设备检验中的技术分为传统技术和无损技术两类,传统技术存在应用范围狭窄、成本高等问题,越来越难以满足特种设备检验的需求。因此,加强无损技术的应用就成为当前特种设备检验中的重点内容。

## 一、无损技术的内涵及意义

无损技术作为当前特种设备检验中使用较多的技术,是一种非破坏性技术。无损技术在不破坏被检验物体状态,如物理性质、化学性质的基础上,借助专业的检测方法来判断被检验物体的内容、性质<sup>[1]</sup>。无损技术在特种设备检验中的应用有着多重意义,突出表现为以下三点:首先,应用范围广。传统技术的应用范围有限,主要通过设备原材料的检验来判断设备的情况,难以全面反映设备的真实状况。无损技术能够应用于特种设备从原材料到制造再到使用的各个环节,具有全过程检验的优势,保证了检验结果的全面性和准确性。其次,成本低。与传统技术相比,无损技术也具有成本低的优势。因为在无损技术的应用中,无需提前准备大量的试剂,也不需要做预处理,仅需以简单的试验,便可检验特种设备是否完好,既有效提升了检测的效率,也极大地降低了检测成本<sup>[2]</sup>。最后,安全性高。特种设备检验具有一定的安全风险,特别是在压力设备、油罐设

备等的检验中,难以有效保证检测的安全性与稳定性。无损技术能够在保障设备完整性的基础上进行检验,有效降低了安全事故的发生风险。

## 二、特种设备原材料无损技术检验

### (一) 金属板材的无损技术检验

金属板材是特种设备常用原材料,包括钢板、不锈钢板、铝合金板、钛合金板等多种类型,多用于承压类特种设备的筒体及封头的制造。特种设备,特别是压力容器,对金属板材的质量要求非常高。压力容器的工作环境较为复杂,经常在剧毒、高压、腐蚀等特殊环境下工作,金属板材的质量问题直接影响到容器的安全性。因此,要做好金属板材的无损检验,借助超声检测技术对金属板材逐张检验,利用单晶或双晶直探头检验金属板材冶炼及压制中的缺陷,如白点、裂纹、分层等。以无损技术检验金属板材,能够降低金属板材的质量风险,从而保证特种设备的质量。

### (二) 管材的无损技术检验

特种设备,如压力管道、换热器、锅炉等的制造中会使用到大量的管材,如无缝钢管、焊接钢管、铝合金管、钛合金管等。管材在特种设备的正常运转中发挥着重要的作用,因此,要做好管材的无损技术检验。特种设备管材包括多种类型,各类型管材检验中的无损技术有所差别。超声波液浸法以及接触法是无缝钢管检验中的常用无损技术,前者采用线聚焦或点聚焦探头,后者则采用与钢管表面接触良好的斜探头或聚焦斜探头,二者均在钢管纵向缺陷的检测中发挥着重要的作用<sup>[3]</sup>。铝合金管、钛合金管等金属管材多采用涡流方法检测,并且,铁磁性钢管与非铁磁性钢管的穿线方式有所差异。

### (三) 钢锻件的无损技术检验

钢锻件在特种设备中有着广泛的应用。对锅炉及压力容器等特种设备而言,常用的钢锻件有圆筒、管板、法兰、接管及凸元等,而对大型游乐设备,如过山车等,常用的钢锻件为大轴。钢锻件在特种设备中的地位与作用决定了钢锻件检验的重要性。因此,要加强无损技术在钢锻件检验中的应用,比如,借助超声波法来检测钢锻件是否有偏析、夹杂、疏松、气孔等危害性缺陷。不同形制钢锻件检验中的无损技术有所差异,比如,实心锻件多采用纵波直探头检验,而环形锻件及筒形锻件则采用横波斜探头检验。

### (四) 钢棒材及铸件无损技术检验

随着特种设备制造业的不断发展,钢棒材及铸件在特种设备制造中发挥着越来越重要的作用,而钢棒材及

铸件也成为特种设备原材料检验的重要内容。钢棒材是锅炉等特种设备锻件及螺栓制造的主要材料,多采用超声纵波检测法,以单晶或双晶直探头检测钢棒材是否存在冶金缺陷,如偏析、夹杂、气孔等<sup>[4]</sup>。特种设备制造中使用到的逐渐较为多样,如铸铁锅炉炉片、造纸用烘钢、阀门、压力管道元件等。气孔类缺陷是铸件最常见的问题,对特种设备的正常运行以及安全性有非常大的危害。可借助射线法来检验铸件是否存在气孔类缺陷,降低铸件的质量风险。

### 三、特种设备制造过程无损技术检验

#### (一) 表面检测技术

表面检测技术是特种设备制造检验中非常重要的无损技术,包括磁粉探伤检测技术以及渗透检测技术两种类型。磁粉探伤技术以专业化的磁粉探伤设备——磁粉探伤机为载体,多采用红色、黑色或者荧光色的湿磁粉来检测。磁粉探伤技术利用磁粉与漏磁场的相互作用形成磁痕,并在一定光照条件下,将工件缺陷的位置以及形象直观地呈现出来。磁粉探伤技术的应用较为广泛,无论是特种设备的坡口、对接焊缝的表面,或者大型锻件、铸件等,均可采用磁粉探伤技术<sup>[5]</sup>。渗透检测技术以渗透剂为材料,常见的有着色剂、清洗剂以及显像剂等,其中,着色剂又分为普通着色剂以及荧光着色剂两种。渗透检测技术能够通过上色的方式,将特种设备制造中的缺陷暴露出来。表面检测技术能够借助专业化的技术将特种设备制造中肉眼难以观察的缺陷呈现出来,保证特种设备制造质量。

#### (二) 超声波检测技术

超声波检测技术是特种设备制造检验中使用较多的技术,其原理是以超声波探讨发出超声,通过超声在特种设备中的传递来搜集数据资料,并借助信息技术,将数据资料以表格的形式呈现出来,继而判定特种设备是否存在损伤、缺陷。A型脉冲反射式超声波探伤仪是超声波检测中使用较多的仪器,多用于特种设备焊缝的扫描。随着科技的不断发展,超声波检测技术也在发展,其中,由加拿大RD Teck公司研发的超声相控阵检测技术是当前特种设备制造检验中使用较多的新技术。超声相控阵检测技术将多个发射及接收晶片按一定阵列装入超声波探头中,利用主机控制晶片,使晶片能够发射不同相位的超声波,从而在保持探头稳定的同时,达到全方位扫描的效果。超声相控阵检测技术突破了以往超声波检测技术的不足,能够满足常规超声波难以满足的部件检测的要求。

#### (三) 射线检测技术

射线检测技术是特种设备制造过程中无损检验的常用技术,在特种设备对接焊缝缺陷的检验中有着重要的应用价值。当前,射线检测技术中常用的射线源主要有X射线探伤机、Y射线探伤机以及射线加速器三种。以

油气管道检验为例,具有射线检测功能的爬行器已经被广泛应用到油气管道检验中。此类爬行器具有很好的性能,一次充电后能够爬行1000米以上的距离,具备自动识别探伤的功能,非常适用于野外油气管道的安装检验。射线加速器包括回旋型、直线型两种类别,适用于较厚的管道检验,最大检验厚度500mm以上,是射线检测技术的发展重点。从成像的角度而言,射线检测技术的成像系统包括实时成像和胶片成像两类,其中,实时成像具有成本低廉、效率高的优势,被压力容器等特种设备的焊接检测中得到了广泛的应用,并取得了良好的成效,保证了特种设备的制造效果。

#### (四) 声发射检测技术

声发射技术是承压类特种设备制造检验中最常见的无损技术。承压类特种设备制造完成后并不会直接投入使用,要在一定介质下,如水、空气、油等中进行耐压试验,其中,部分使用环境复杂、要求较高的承压类特种设备,不仅要进行水压试验,也要借助声发射检测技术来查看其在试验中的表现,如是否出现缺陷开裂、裂纹拓展等问题,从而给出其结构完整性的评价<sup>[6]</sup>。承压类特种设备的声发射检测多采用多通道声发射仪检测。为了保证试验效果,水压试验要进行两次,相应的,声发射检测技术也要开展两次。第一次水压试验中,由于承压类特种设备残余应力得到了充分的释放,声发射检测技术会检测到大量的声发射信号,并容易出现声发射定位源集团。因此,要借助第二次试验来查找重复出现的声发射定位源信号,将入孔、支座等中的缺陷查找出来。两次试验可以最大限度地降低检验误差,保证检验效果。

### 四、在役特种设备无损技术检验

#### (一) 激光全息检测技术

当在役特种设备内部出现问题时,特种设备的功能会受到影响,甚至会引发安全问题。常规的检测方式在特种设备内部问题的研判中存在很大的局限性,难以准确反映特种设备的内部情况,自然也无法服务于特种设备的检修。对此,激光全息检测技术有着重要的应用价值。一般情况下,特种设备内部问题多和外力导致的内部形变有关,激光全息检测技术不仅可以对形变的情况进行判断,更能进行统一的记录与对比,在特种设备内部缺陷的查找、分析、检修中有着重要的价值<sup>[7]</sup>。当前,激光全息技术已经被应用到多种特种设备的检验中,如化工特种设备等,在保障在役特种设备的性能中发挥着重要的作用。

#### (二) 红外检测技术

红外检测技术是高温及低温承压设备内部保温层检测中常用的无损技术,在内部保温层的检测与评价中具有重要的作用。以高温特种设备为例,高温特种设备多在内部涂抹保温材料。随着使用年限的增加,在役高温

设备保温材料易发生裂纹、脱落等问题，导致壳体的超温运行以及材料的热损伤，严重影响高温特种设备的性能以及安全性。借助红外检测技术，能够及时发现高温特种设备中局部超温现象。不仅如此，红外检测技术在疲劳损伤的检测中也有重要的价值。特种设备高应力集中部位容易出现早期疲劳损伤的问题。红外检测技术能够以红外热成像将早期疲劳损伤呈现在热斑迹图上。

### （三）涡流检测技术

涡流检测技术多用于压力容器换热器热管表面裂纹以及腐蚀状态的检测，能够发现物件蚀坑、穿孔以及壁厚均匀减薄等问题，具有良好的无损检验效果。除常规涡流检测技术外，电磁涡流检测技术以及脉冲涡流检测技术也是当前在役特种设备检验中常用的无损技术。电磁涡流检测技术采用特殊的电流扰动磁敏探头检测焊缝表面的裂纹，在涂有防腐层以及表面较为粗糙的焊缝检测中具有显著的价值，能够弥补常规涡流检测技术的不足<sup>[8]</sup>。脉冲涡流检测技术以激励线圈产生快速变化的磁场诱发涡流，具有更高的精确度，精度误差可以控制到5%左右。

### （四）磁记忆检测技术

材料应力集中及疲劳损伤是在役特种设备检验中的重要内容，而磁记忆检测技术则在此一方面的检测中具有重要的应用价值。磁记忆检测技术诞生于20世纪90年代，铁磁工件受载后，应力及变形区域的磁状态会发生不可逆的变化，并且，这种变化在载荷消除后仍然存在。磁记忆检测技术以此为基本原理，能够有效检测出特种设备存在的应力腐蚀开裂以及疲劳损伤等问题。以焊缝检测为例，可采用专门的磁记忆检测机器进行扫描，查找应力峰值的部位，再借助金相分析、硬度测试、内部超声以及磁粉等方法，对应力峰值进行分析，研判特种设备内外部裂纹以及微观层面的材料损伤。

## 五、特种设备检验中无损技术的应用策略

### （一）加强技术研发

无损技术自身的发展是提高无损技术在特种设备检验中应用效果的重要因素。与传统技术相比，新出现的技术具有多重优势，比如，超声相控阵检测技术比常规超声检测技术的性能更佳。因此，加强技术研发就成为特种设备检验中无损技术应用的首要内容。对此，要树立创新发展意识，加大无损技术研发的投入力度，一方面组织企业内部专家学者以及技术人员开展技术攻关，不断破除无损技术应用中的难点，另一方面，以校企合作的形式发挥学校智力资源在技术研发中的作用。

### （二）健全作业制度

“没有规矩，不成方圆”。作业制度不完善是当前特种设备检验中无损技术应用的典型问题，并对特种设备检验效果形成了很大的制约。因此，健全作业制度就成为无损技术应用的要点。首先，完善制度条文。从精

细化管理的角度出发，完善制度条文，为无损技术作业提供明确的依据。其次，严格制度的实施。做好制度执行的监督检查工作，以常态化的现场巡查与不定期的临时抽查来检察制度实施情况，对违反制度的作业行为进行严厉的惩罚。

### （三）做好人员培训

无论何种类型的无损技术，均需要有检测人员来完成。检测人员自身的专业能力、责任意识，对特种设备检验中无损技术的应用效果有直接的影响。因此，要做好检测人员的培训工作。一方面，完善检测人员培训的内容体系，重点做好操作技能以及职业素养的培训，增强检测人员利用无损技术开展特种设备检验的能力<sup>[9]</sup>，另一方面，创新检测人员培训方式，发挥好现场教学、远程指导、新媒体培训等的作用，推动培训工作的常态化开展，为无损技术的高效应用保驾护航。

## 六、结语

无损技术是特种设备检验中的重要技术。对此，一方面要从全过程检验的角度出发，发挥好无损技术在特种设备原材料、制造过程以及在役特种设备检验中的作用，另一方面从加强技术研发、健全作业制度、做好人员培训三个维度提高无损技术在特种设备检验中的应用水平。

## 参考文献

- [1] 马晓宇. 论无损检测技术在特种设备检验中的应用[J]. 建筑工程技术与设计, 2019(31): 4029.
  - [2] 薛鹏. 无损检测技术在特种设备检验中的运用探讨[J]. 科技风, 2020(29): 33-35.
  - [3] 黄涛, 李宝峰. 特种设备无损检测技术应用研究[J]. 中国化工贸易, 2012(11): 88.
  - [4] 沈功田, 张万岭. 特种设备无损检测技术综述[J]. 无损检测, 2006(01): 36-39.
  - [5] 肖长华. 浅谈无损检测技术在特种设备检验中的运用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2013, 33(23): 197-198.
  - [6] 李海江, 余旭红, 周春香. 压力容器无损检测声发射检测技术[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2016(01): 4785.
  - [7] 孙宏伟. 石油化工特种设备检验中无损检验技术的应用[J]. 化工管理, 2020(09): 159-160.
  - [8] 陈键, 章国方. 无损检测技术在锅炉压力容器检验中的运用[J]. 南方农机, 2017(18): 110.
  - [9] 强天鹏, 顾闾如, 谢双扣. 特种设备无损检测人员实践培训的思考[J]. 无损检测, 2010(08): 605-607.
- 作者简介: 孙峰(1987-), 男, 汉族, 山东省威海市文登区, 助理工程师, 主要从事特种设备检验和相关研究工作。