

# 特种设备检验检测技术应用

刘冰

内蒙古自治区特种设备检验研究院通辽分院 内蒙 通辽 028000

**摘要：**随着我国经济社会的发展，特种设备的使用数量急剧增加，其安全也面临着极具挑战。特种设备检验检测技术作为保障设备安全运行的重要手段，在质检体系中占据重要地位。本文首先分析了特种设备检验检测技术的分类，然后详细介绍了当前应用广泛的几种无损检测技术，包括射线检测、超声波检测、磁粉检测、渗透检测和涡流检测等，并探讨了这些技术的原理、特点及应用场景。

**关键词：**特种设备；检验；检测；技术应用

引言：特种设备是指涉及生命安全、危险性较大的锅炉、压力容器（含气瓶）、压力管道、电梯、起重机械、客运索道、大型游乐设施和场（厂）内专用机动车辆等设备。这些设备在国民经济和社会发展中具有举足轻重的作用，但其危险性也较高，一旦发生安全事故，后果不堪设想。因此，保障特种设备的安全运行至关重要，特种设备检验检测技术是确保设备安全运行的重要手段。

## 1 特种设备检验检测技术的分类

特种设备检验检测技术是确保各类承压、传动、吊装等关键设备安全运行的核心手段，其分类细致且各具特色，涵盖了从宏观到微观、从物理到化学的多个维度。以下是对特种设备检验检测技术四大类——宏观检查、电阻测定、理化检验及无损检测的深入解析。

1.1 宏观检查。宏观检查作为特种设备检验的初步环节，其重要性不言而喻。它不仅是对设备外观的直接审视，更是后续专业检测的基础。目视检查是宏观检查中最基础也是最直观的方法，通过专业人员对设备表面进行细致观察，能够迅速发现明显的裂纹、变形、腐蚀等缺陷。放大镜检查则进一步提升了检查精度，利用放大镜放大设备表面的细微结构，使检查人员能够更清晰地识别微小裂纹、划痕等不易察觉的缺陷。此外，内窥镜检查技术的引入，使得对特种设备内部难以直接接触的区域进行检查成为可能，如管道内部、压力容器焊缝背面等，极大地扩展了宏观检查的范围和深度。宏观检查不仅要求检查人员具备丰富的专业知识和实践经验，还需要他们具备高度的责任心和细致入微的工作态度。通过宏观检查，可以初步评估设备的整体状况，为后续检验项目的选择和实施提供重要依据<sup>[1]</sup>。

1.2 电阻测定。电阻测定是特种设备电气安全性能检测的重要组成部分。防静电接地电阻的测定旨在确保设

备在运行过程中能够有效防止静电积累，避免因静电放电引发的火灾、爆炸等安全事故。法兰间接触电阻的测定则关注于设备连接部位的电气连接质量，确保电流能够顺畅传输，避免因接触不良导致的电阻增大、发热甚至熔断等问题。电阻测定的方法多样，其中万用表测量和绝缘电阻测试仪测量是最为常用的两种。万用表测量简单易行，适用于快速检测电阻值是否在正常范围内；而绝缘电阻测试仪则能够提供更精确、更稳定的测量结果，尤其适用于对设备绝缘性能要求较高的场合。

1.3 理化检验。理化检验是特种设备材料性能评估的关键环节。化学成分分析通过光谱分析、化学滴定等方法，精确测定设备材料的元素组成及含量，为材料性能的判断提供基础数据。金相检验则利用显微镜观察材料的显微组织结构，评估材料的晶粒度、相组成、缺陷类型及分布等，进一步揭示材料的性能特点。硬度测试和力学性能试验则是理化检验中不可或缺的部分。硬度测试通过压痕法、划痕法等方法，评估材料的硬度等级，为材料的选择和使用提供依据。力学性能试验则通过拉伸、压缩、弯曲等试验手段，测定材料的强度、塑性、韧性等力学性能指标，全面评估材料的承载能力和使用寿命<sup>[2]</sup>。

1.4 无损检测。无损检测以其不损伤被检部件、灵敏度高等优点，在特种设备检验检测中占据举足轻重的地位。射线检测利用X射线或 $\gamma$ 射线的穿透性，通过观察射线在材料中的衰减情况，揭示材料内部的结构缺陷。超声波检测则利用超声波在材料中的传播特性，通过检测超声波的反射、透射等信号，判断材料内部是否存在裂纹、气孔等缺陷。磁粉检测和渗透检测则更侧重于表面缺陷的检测。磁粉检测利用磁粉在磁场作用下聚集在缺陷处的现象，直观显示缺陷的形状、大小和位置；而渗透检测则通过渗透剂在缺陷处的渗透和显像剂的吸附作

用,形成明显可见的缺陷图像。涡流检测则利用电磁感应原理,通过测量涡流的变化来推断材料的缺陷情况。无损检测技术的多样性和互补性,使得特种设备检验检测能够覆盖从表面到内部、从宏观到微观的全方位检测需求。通过综合运用多种无损检测技术,可以实现对特种设备全面、准确、高效的检验检测,为设备的安全运行提供有力保障。

## 2 无损检测技术的应用

2.1 射线检测。在承压类特种设备,如锅炉、压力容器等的制造与维护过程中,射线检测凭借其独特的穿透性和成像能力,成为检测焊缝质量、排查潜在缺陷的关键工具。X射线和 $\gamma$ 射线因其较强的穿透力和易于控制的特性,成为射线检测中的主流选择。它们能够穿透金属材料的表面,揭示出隐藏在内部的裂纹、气孔、夹渣等缺陷,为工程师们提供了宝贵的内部质量信息。特别是在焊缝检测中,射线检测能够清晰地显示出焊缝的熔合情况、未熔合、未焊透等缺陷,确保焊接质量符合安全标准。然而,射线检测技术的优势并非没有代价。其高昂的成本主要源于设备购置、维护以及检测过程中所需的胶片、显影剂等耗材费用。此外,射线检测过程相对耗时,特别是在处理大型或复杂结构时,需要更长的曝光时间和更细致的图像处理工作。这些因素共同导致了射线检测的效率相对较低。更为严峻的是,射线对人体健康构成的潜在威胁。X射线和 $\gamma$ 射线均属于电离辐射,长时间或高剂量的暴露可能对人体细胞造成损伤,甚至引发癌症等严重疾病。因此,在进行射线检测时,必须严格遵守安全操作规程,采取严格的时间防护、距离防护和屏蔽防护等措施,确保检测人员及周围环境的安全<sup>[3]</sup>。

2.2 超声波检测。该技术利用超声波在介质中传播时遇到不同界面或缺陷时产生的散射、反射和衍射等特性,来精确测量和评估物体的尺寸、表面状态及内部结构。在超声波检测的多种方法中,脉冲反射法因其操作简便、结果直观而被广泛采用。该方法通过发射超声波脉冲至被测物体,并接收由物体内部缺陷或界面反射回来的回波信号,通过分析这些信号的时间、幅度和相位等参数,可以推断出缺陷的位置、大小和性质。这种技术不仅适用于金属材料的检测,也适用于非金属材料的检测,如陶瓷、塑料等。超声波检测的主要优势之一在于其高效性和经济性。相较于射线检测等其他无损检测方法,超声波检测不需要昂贵的射线源和防护设备,且检测过程快捷,便于在现场进行。这使得超声波检测成为生产线质量控制和设备维护中的首选技术之一。然而,超声波检测也存在一定的局限性。首先,由于超声

波在传播过程中会受到介质材料、形状和缺陷类型等多种因素的影响,导致其对三维型缺陷的检出率相对较低。其次,超声波检测对于较薄的部件检测效果不佳,因为超声波在薄材料中容易发生绕射和多次反射,干扰检测结果的准确性。此外,超声波检测的另一个挑战在于其检测结果的解读和评估。与射线检测等可以直接形成图像记录的检测技术不同,超声波检测的结果往往依赖于检测人员的经验和技能水平。检测结果的准确性受到人为因素的影响较大,且无法进行精确的定性和定量分析。因此,在进行超声波检测时,需要专业的检测人员和技术支持,以确保检测结果的准确性和可靠性<sup>[4]</sup>。

2.3 磁粉检测。磁粉检测作为一种高效且经济的无损检测技术,在工业生产与质量控制中扮演着至关重要的角色。该技术特别适用于铁磁性材料表面及近表面缺陷的检测,如裂纹、气孔、夹渣等,为工程安全提供了强有力的保障。磁粉检测的核心原理在于利用铁磁性材料在磁化后产生的强大磁感应强度。当这些磁力线遭遇材料内部的缺陷时,它们会发生畸变,形成所谓的“漏磁场”。这一现象为磁粉检测提供了独特的检测机制——在材料表面撒上细微的磁粉颗粒后,这些颗粒会在漏磁场的作用下被吸附并排列成特定的图案,即磁痕。磁痕的形状、大小和位置直接反映了缺陷的特征,使得检测人员能够直观地识别出缺陷的存在及其详细信息。磁粉检测之所以受到广泛青睐,主要得益于其多方面的优势。首先,其检测灵敏度极高,能够探测到微米级的裂纹,这对于确保结构件的安全性和可靠性至关重要。其次,检测结果直观易懂,无需复杂的图像处理或数据分析,检测人员仅凭肉眼即可快速准确地判断缺陷情况。此外,磁粉检测还具有速度快、操作简便、成本低廉等特点,非常适合于大面积的快速扫查和现场检测。然而,磁粉检测也并非完美无缺。它主要局限于铁磁性材料的检测,对于非铁磁性材料(如铝、铜等)则无法直接应用。此外,被检测件的表面清洁度对检测结果有着重要影响。如果表面存在油脂、锈迹等杂质,可能会干扰磁粉的正常吸附和排列,导致漏检或误判。因此,在进行磁粉检测之前,必须确保被检测件表面干净无污染。

2.4 渗透检测,作为一种广泛应用的表面缺陷无损检测技术,其独特的工作原理和广泛的适用性,使得它在航空航天、汽车制造、石油化工等多个领域发挥着重要作用。该技术通过巧妙地利用毛细作用现象,实现了对试件表面开口缺陷的高效检测。在渗透检测过程中,首先选用含有荧光染料或着色染料的渗透剂,这些渗透剂具有优异的渗透能力和良好的显色效果。当渗透剂被均

匀涂覆在被检表面时，它们会迅速渗透到任何存在的表面开口缺陷中，如裂纹、气孔等。这一过程充分展示了毛细作用在微观尺度下的强大力量，使得即便是微小的缺陷也难以逃脱检测。随后，通过清洗步骤去除表面多余的渗透剂，确保显像剂能够准确地指示出缺陷位置。在显像剂的作用下，残留在缺陷中的渗透剂会被重新吸附到工件表面，形成清晰可见的缺陷图像。这些图像直观地展示了缺陷的形状、大小和位置，为后续的修复或改进提供了重要依据。渗透检测之所以受到广泛欢迎，原因在于其多方面的优势。首先，该技术不受材料种类的限制，无论是金属、非金属、磁性还是非磁性材料，均可进行有效检测。这一特点使得渗透检测在多种工业场合中具有广泛的应用前景。其次，渗透检测具有极高的检测灵敏度，能够检测到宽度仅为0.1微米的裂纹，这对于确保产品质量和安全性至关重要。此外，渗透检测还具有成本低、操作简单、设备便携等优点，非常适合于现场检测需求。然而，渗透检测也并非没有缺点。其最大的局限性在于只能检测表面开口缺陷，对于内部缺陷则无能为力。此外，检测过程中使用的渗透剂和显像剂可能对人体造成危害，因此必须做好严格的安全防护措施。这包括佩戴防护服、手套、眼镜等个人防护装备，以及在通风良好的环境下进行操作等。

2.5 涡流检测。它利用电磁感应定律，当导电材料被置于一个交变磁场中时，材料内部会感应出涡流，这些涡流会围绕磁场方向形成闭合回路，并随着磁场的变化而变化。涡流的大小、分布和相位等信息，能够反映材料内部的电导率、磁导率、尺寸及是否存在缺陷等特征。涡流检测技术的核心优势在于其高效性和自动化潜力。由于检测过程无需接触被测物体，且涡流信号能够迅速响应磁场变化，因此涡流检测能够实现高速、连续的在线检测，大大提高了生产效率。在检测范围上，涡流检测特别适用于导电材料的表面及近表面缺陷检测。

无论是细微的裂纹、气孔还是夹杂物等，只要它们影响了材料的导电性，都能在涡流检测中留下明显的信号特征。这使得涡流检测在航空航天、汽车制造、电力电子等领域具有广泛的应用前景，特别是在对材料表面质量要求极高的场合下。然而，涡流检测技术也存在一定的局限性。首先，它要求被测材料必须是导电的，对于非导电材料（如陶瓷、塑料等）则无法进行检测。其次，涡流检测的深度相对较浅，通常只能检测到材料表面及近表面的缺陷。对于深层缺陷或材料内部的复杂结构变化，涡流检测可能无法提供足够的信息。此外，涡流检测还受到一些外部因素的干扰。例如，材料的表面粗糙度、温度、电磁屏蔽等因素都可能影响涡流信号的稳定性和准确性。因此，在进行涡流检测时，需要严格控制检测环境，确保检测结果的可靠性。

结论：特种设备检验检测技术在保障特种设备安全运行方面发挥着重要作用。当前，射线检测、超声波检测、磁粉检测、渗透检测和涡流检测等无损检测技术已得到广泛应用，并展现出各自独特的优势和局限性。未来，随着科技的进步和特种设备安全要求的提高，特种设备检验检测技术将向智能化、自动化、高精度、远程化、多技术融合及绿色化等方向发展。这将进一步提升特种设备的安全性能，为经济社会的发展提供有力保障。

#### 参考文献

- [1]韩世勋.特种设备检验中无损检测技术的应用分析[J].甘肃科技,2020,36(24):24-25,3.
- [2]陈阳文.无损检测技术在承压类特种设备检验中的应用探究[J].中国设备工程,2020(23):155-156.
- [3]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.
- [4]林琦,杨立军.特种设备检验中无损检测技术的应用分析[J].化工管理,2018(29):185.