

# 红外成像检测技术在特种设备检验中的应用研究

马志文 赵 晶 王帮琼

巴音郭楞蒙古自治州检验检测中心 新疆库尔勒 841000

**【摘 要】**在当今工业化快速发展的时代背景下，特种设备作为工业生产、能源供应、交通运输等领域不可或缺的重要组成部分，其安全、稳定、高效的运行对于保障国家经济安全、人民生命财产安全具有至关重要的意义。特种设备，如锅炉、压力容器、压力管道、起重机械、电梯以及大型游乐设施等，由于其特殊的结构设计和工作环境，往往承受着高温、高压、高速、重载等极端条件。本文旨在深入探讨红外成像检测技术在特种设备检验中的应用现状、原理、优势以及具体实践案例，通过全面分析红外成像技术在压力容器、管道设备、电气设备等特种设备检验中的实际应用效果，为相关领域的研究者和实践者提供有益的参考和借鉴。

**【关键词】**红外成像检测技术；特种设备检验；压力容器；管道设备；电气设备；安全监测

## 一、引言

随着科技的进步和检测技术的不断创新，红外成像检测技术作为一种新兴的非接触式检测技术，逐渐在特种设备检验领域崭露头角。红外成像检测技术利用物体发出的红外辐射进行成像，能够直观、快速地反映出设备表面的温度分布和异常情况，从而实现对设备运行状态的有效监测和故障诊断。其非接触、实时、便捷的特点，使得红外成像检测技术在特种设备检验中具有独特的优势和应用价值。

## 二、红外成像检测技术的原理

红外成像检测技术，其核心在于利用物体因温度差异而发射出的不同强度的红外辐射，通过专业的红外成像系统捕捉这些辐射并将其转换为可见的图像，这一技术基于热辐射的基本原理，即所有温度高于绝对零度的物体都会向外发射红外辐射，且辐射强度与物体温度呈正相关。红外成像系统通过高精度的红外传感器接收这些辐射，经过信号转换、处理与增强后，形成反映物体表面温度分布的热图像，这些图像不仅直观展示了物体各部分的温度差异，还能够揭示出肉眼无法察觉的热异常点，为设备的状态监测、故障诊断及安全评估提供了强有力的视觉依据。

## 三、红外成像检测技术的优势

### （一）非接触式检测

红外成像技术无需直接接触被测物体，避免了传统检测方法中可能因接触造成的物理损伤或干扰<sup>[1]</sup>，这种非侵入式的检测方式，特别适用于对精密设备或高温、高压环境下的设备进行检测，确保了检测过程的安全性和设备的完整性。

### （二）环境适应性强

该技术能在极端环境下稳定工作，无论是高温、高压还是高湿、强磁等复杂环境，红外成像都能准确捕捉物体的热辐射信息，这一特性使得红外成像技术在石化、电力、冶金等工业领域，以及户外、夜间等特殊环境下的设备检测中具有显著优势。

### （三）高效实时扫描

红外成像系统能够迅速对被测物体进行大面积扫描，形成实时的热图像，这种快速响应能力不仅提高了检测效率，还允许操作人员即时观察设备状态，对异常情况做出迅速反应。对于需要连续监测的设备，红外成像技术能够实现不间断的实时监控。

### （四）直观客观的检测结果

红外成像技术通过色彩或灰度变化直观展示物体表面的温度分布，每个像素点都对应一个具体的温度值，使得检测结果既直观又客观，这种可视化的呈现方式，便于操作人员快速定位热异常区域，准确评估设备状态，为后续的维护决策提供有力依据。

## 四、红外成像检测技术在特种设备检验中的应用

### （一）压力容器

#### （1）隐蔽缺陷的非接触式精准检测

相较于传统的超声波检测、磁粉检测等方法，红外成像技术无需直接接触容器表面，避免了因检测过程可能造成的二次损伤，确保了容器结构的完整性。特别是对于那些微小至肉眼难以察觉的裂纹、腐蚀坑等表面缺陷，红外成像技术展现出了其卓越的检测能力。该技术通过高灵敏

度的红外传感器，捕捉容器表面因缺陷导致的细微温度差异，这些温度差异，虽然可能仅有 $0.5^{\circ}\text{C}$ 甚至更小，但在红外成像技术的放大与对比下，却变得清晰可见。检测人员可以根据图像中的温度分布不均，快速锁定潜在缺陷区域，实现精准定位，这种直观、高效的检测方式，极大地提高了检测准确率，减少了漏检和误检的风险<sup>[2]</sup>。对于大型压力容器而言，传统的检测方法往往耗时费力，而红外成像技术则能在数分钟内完成对整个容器的全面扫描，大大提升了检测效率。

## （2）热传导分析，精准判断异常热畸变

压力容器在运行过程中，受到内部介质温度、压力变化以及材料热导率不均匀等多重因素的影响，容器壁可能会出现热畸变现象，这种热畸变，如果得不到及时发现与处理，很可能导致容器结构的破坏，甚至引发严重的安全事故。红外成像技术通过连续监测容器表面的温度分布，结合先进的热传导模型，为判断容器壁是否存在异常热畸变提供了科学依据。技术人员可以根据红外图像中温度梯度的变化，计算出容器壁的热梯度分布，进而分析出是否存在异常的热应力集中区域。当某区域的温度梯度超过正常范围的20%时，即被视为异常信号，需要立即对该区域进行进一步的细致检查，以评估其结构完整性，这种基于热传导分析的方法，不仅提高了检测精度，还能够提前发现因热应力集中而导致的潜在裂纹或变形，为容器的预防性维护提供了有力支持。

## （3）容器表面的连续扫描，实现全面检测与评估

红外成像技术还具备连续扫描功能，可对压力容器表面进行不间断的实时监测。通过设置合理的扫描间隔（如每小时一次），可以构建起完整的温度变化数据库，为容器的长期健康管理提供数据支持。通过对比不同时间点的热图像，可以分析出容器表面温度的变化趋势，及时发现温度异常区域，如局部过热或温度骤降，这些往往是设备故障的前兆。结合历史数据，还可以对容器的使用寿命进行预测，为维修计划的制定提供科学依据。此外，红外成像技术的高分辨率（如 $0.1^{\circ}\text{C}$ 的温度分辨率）确保了检测的精确性，使得对容器表面的微小温度变化也能被准确捕捉，为全面评估容器状态提供了可靠依据。

## （二）管道设备

### （1）快速扫描大面积管道，高效发现潜在故障

在管道设备的检验中，红外成像技术以其高效的扫描

能力，能够在短时间内覆盖大面积管道表面，快速识别出潜在的故障和缺陷。传统检测方法如人工巡检，不仅耗时耗力，而且难以发现细微的泄漏或腐蚀。红外成像技术则通过捕捉管道表面因故障导致的温度异常，如微小的温度差异（通常小于 $1^{\circ}\text{C}$ ），即可迅速定位潜在问题区域。例如，对于一条长达10公里的输油管道，红外成像技术可在数小时内完成全面扫描，相比人工巡检，效率提高数倍。同时，该技术还能在夜间或恶劣天气条件下工作，确保检测的连续性和准确性。

### （2）高灵敏度与分辨率，精准检测微小温度异常

红外成像技术的另一大优势在于其高灵敏度和分辨率，能够检测到管道表面微小的温度异常，这是传统检测方法难以比拟的。例如，某些高级红外成像仪的温度分辨率可达 $0.01^{\circ}\text{C}$ ，这意味着即使管道表面只有微小的温度变化，也能被准确捕捉，这种高精度检测对于发现管道的早期腐蚀、泄漏或堵塞至关重要，因为这些问题在初期往往只表现为微小的温度差异。

### （3）实时监测管道状态，全面评估运行性能

红外成像技术不仅适用于管道设备的定期检验，还可用于实时监测管道的运行状态。通过安装固定式红外成像仪或利用无人机搭载红外成像设备，可以对管道进行不间断的监控，实时获取管道表面的温度数据<sup>[3]</sup>，这些数据可以用于分析管道的热效率、流体流动状态以及潜在的故障点。例如，通过监测管道不同位置的温度变化，可以判断流体是否均匀流动，是否存在堵塞或泄漏现象。同时，结合历史数据，还可以对管道的运行性能进行全面评估，为管道的维护、修复或更换提供科学依据，这种实时监测与评估方式，大大提高了管道设备的管理效率和安全性。

## （三）电气设备

### （1）实时监测温度，精准捕捉局部高温

在电气设备的检验中，红外成像技术能够实时监测设备表面的温度变化，特别是局部高温区域，这是预防设备故障和火灾的关键。电气设备在运行过程中，由于电流通过、电阻发热或接触不良等原因，某些部位可能会出现异常高温。红外成像技术通过捕捉这些微小的温度差异（精度可达 $0.1^{\circ}\text{C}$ 甚至更低），能够迅速定位高温点，为及时采取措施提供准确信息。例如，在变压器、开关柜等关键设备上安装红外成像仪，可以24小时不间断地监测其表面温度，一旦发现温度异常升高（如超过正常工作温度 $10^{\circ}\text{C}$

以上),即可立即进行检修,避免事态扩大。

### (2) 有效检测电气设备过载问题

过载是电气设备常见的故障之一,长期过载运行会导致设备损坏甚至引发火灾。红外成像技术通过监测设备表面的温度分布,可以间接判断设备是否处于过载状态。当设备负载过大时,电流增加导致发热量增大,设备表面温度也会相应升高。红外成像技术能够捕捉到这种温度变化,并与正常负载下的温度数据进行对比,从而判断设备是否过载。例如,对于一台额定功率为100kW的电动机,若其表面温度持续高于正常负载下的温度阈值(如超过80°C),则可能表明设备处于过载状态,需要立即调整负载或进行检修。

### (3) 精确识别电路接触问题

电路接触不良是电气设备常见的故障之一,如接头松动、氧化或腐蚀等,这些问题都会导致接触电阻增大,进而产生局部高温<sup>[4]</sup>。红外成像技术能够精确识别这些接触问题,通过捕捉电路接触点处的温度异常,及时发现并定位故障点。例如,在配电箱、接线端子等关键部位使用红外成像仪进行扫描,若发现某接触点温度明显高于其他点(如温差超过5°C),则可能表明该接触点存在问题,需要进一步检查和处理,这种精确识别能力,对于预防电气火灾、保障设备安全运行具有重要意义。

## 五、红外成像检测技术的实际应用案例

### (一) 石化工业中的设备状态监测与高效故障诊断

在石化工业,红外成像检测技术以其非接触、快速响应的特点,成为设备状态监测与故障诊断的重要工具。以某大型炼油厂为例,其催化裂化装置中的关键设备——再生器,由于长期高温高压运行,内部衬里易受损脱落,导致热量异常分布。采用红外成像技术,技术人员定期对再生器外壳进行扫描,通过对比分析图像中的温度分布(精度至0.05°C),成功发现了一处温度异常区域,比周围正常区域高出约15°C。结合后续的内部检查,确认该处衬里已严重脱落,及时修复避免了潜在的火灾和爆炸风险,保障了生产安全,减少了因停机检修造成的经济损失约200万元。

### (二) 锅炉、压力容器、压力管道等特种设备的精细检验实例

在特种设备检验领域,红外成像技术同样发挥着不可替代的作用。以一台高压蒸汽锅炉为例,传统检测方法难以准确判断锅炉内部管束的磨损和堵塞情况。而采用红外

成像技术,通过对锅炉外壳进行扫描,结合热传导模型分析,技术人员发现某区域温度异常偏低(与相邻区域温差达10°C),推断该处管束可能存在堵塞。经停炉检修验证,确实发现该区域管束内有大量积垢,及时清理避免了因管束堵塞导致的热效率下降和潜在的安全隐患,预计年节省燃料成本约50万元。

### (三) 电气设备红外成像检测的实际应用成效

电气设备的安全运行是工业生产的基础。在某大型变电站,红外成像检测技术被广泛应用于高压开关柜、变压器等关键设备的日常巡检中。一次巡检中,技术人员通过红外成像仪发现一台高压开关柜的触头部位温度异常升高(比环境温度高出30°C),立即安排停电检查。经拆解发现,触头因长期磨损导致接触不良,及时更换避免了因触头熔断引发的短路事故,保障了电网的稳定供电,避免了可能造成的直接经济损失约1000万元及间接影响。此外,红外成像技术还帮助发现了多起电缆接头过热、绝缘层老化等问题,有效预防了电气火灾的发生。

## 结束语

本文系统地研究了红外成像检测技术在特种设备检验中的应用,通过理论分析与实际案例相结合的方式,充分展示了该技术的优势与潜力。然而,红外成像检测技术也存在一定的局限性,如受物体表面发射率、环境温度等因素影响。因此在未来的研究中,应进一步探索红外成像技术的改进与优化方法,提高其检测精度与可靠性,为特种设备的安全运行提供更加有力的技术保障。同时,也应加强红外成像技术与其他检测技术的融合应用,形成多元化的检测体系,共同提升特种设备检验的整体水平。

## 参考文献:

- [1] 王志良,杨剑赞,陈韶斌,等.红外热成像无损检测技术在承压特种设备检验中的应用[J].中国科技期刊数据库工业A,2023(5):4.
- [2] 陈家祥.在用压力管道检测中红外热成像技术的应用[J].电子制作,2013,000(020):46-46.
- [3] 肖长华.浅谈红外热成像无损检测技术及其应用[J].企业技术开发:中旬刊,2013,32(8):3.
- [4] 郑凯,罗志涛,张辉.红外热成像技术在FRP复合材料/热障涂层无损检测应用中的研究现状与进展[J].红外技术,2023,45(10):1008-1019.