

无损检测技术在电梯检验中的实践研究

胡斌¹, 李自然¹, 刘昶熠²

1. 湖南安广检验检测有限公司, 湖南 常德 415137

2. 湖南安卓特种设备科技有限公司常德分公司, 湖南 常德 415000

摘 要 : 电梯属于垂直运输特种设备, 运行环境较为特殊, 电梯运行安全与否关系到乘员生命财产安全, 因此需要全面做好电梯检验工作。电梯检验中运用无损检测技术, 不需要改变电梯原本结构、性质, 即可精准获取电梯运行状态, 及时反馈电梯内外部的缺陷, 组织技术人员及时处置, 全面保障电梯检验质量。文章围绕电梯检验中无损检测技术的实践应用情况展开论述, 总结具体的无损检测技术以及实践应用情况, 以期推动无损检测技术推广应用。

关 键 词 : 电梯检验; 无损检测技术; 红外检测技术; 磁感检测技术

Research on the Practice of Non-Destructive Testing Technology in Elevator Inspection

Hu Bin¹, Li Ziran¹, Liu Changyi²

1. Hunan Anguang Inspection and Detection Co., Ltd. Changde, Hunan 415137

2. Hunan Android Special Equipment Technology Co., Ltd. Changde Branch, Changde, Hunan 415000

Abstract: Elevators are special equipment for vertical transportation with a unique operating environment. The safety of elevator operation is crucial to the lives and property of passengers, thus requiring comprehensive elevator inspection work. The application of non-destructive testing technology in elevator inspection allows for precise acquisition of elevator operating status without altering its original structure or properties. This technology provides timely feedback on internal and external defects, enabling technical personnel to promptly address issues and fully ensure the quality of elevator inspection. This article discusses the practical application of non-destructive testing technology in elevator inspection, summarizing specific techniques and their practical applications to promote the widespread adoption of non-destructive testing technology.

Keywords: elevator inspection; non-destructive testing technology; infrared detection technology; magnetic induction detection technology

无损检测技术即不破坏、不影响被检测对象性能、寿命前提下, 精准检出被检测对象的声、光、热、电、磁等反应变化, 目前已经成为现代化检验领域的有效检测方法。电梯在日常生产生活中应用广泛, 由于特种设备的安全性要求, 电梯检验中采用无损检测技术, 不仅规避电梯正常运行的干扰, 还可以提高电梯使用性能、使用寿命, 为乘员人身安全保驾护航。

一、无损检测技术优势分析

无损检测技术, 即使用专门的设备工具, 快速、精准检测物体状态, 获取被检测物体各项参数信息, 精准确定缺陷位置和类型。无损检测技术类型多样, 包括红外线、磁粉以及超声波等无损检测技术, 随着技术持续更新升级, 无损检测技术逐渐广泛应用于特种设备检测领域^[1]。

无损检测技术在电梯检验领域应用, 相较于传统检验方式优势更加突出。无损检测技术操作便捷、快速、安全可靠, 其中超声波检测技术应用电梯检验中, 能实现电梯大面积扫描, 快速完成各区域检测任务, 缩短检验流程同时, 提升检验效率和质量。检测准确性方面, 无损检测技术可以精准预测分析各类缺陷位置、性质以及大小尺寸。其中射线检测作为一项代表性无损检测

技术, 能够精准、可视化呈现焊缝缺陷, 尤其是很多隐蔽缺陷, 保障电梯安全稳定运行。除此之外, 无损检测技术不需要拆解或破坏电梯部件, 即可精准检测电梯结构和性能, 能够避免拆解电梯部件后无法规范安装的问题, 还可以降低检测成本, 延长电梯使用寿命和安全性^[2]。具体如表1所示。

表1 无损检测技术在电梯检验中的优势			
项目	传统检验方法	无损检测技术	效益
检测完整性	30% 以内抽样检测	全面扫描	缺陷检出率提高40%
检测效率	单一部件检测时间2h ~ 4h	自动扫描检测, 单一部件检测时间30min 以内	检测时间缩短65%
缺陷表征能力	检测表面可见缺陷	三维缺陷重构	增强了缺陷量化评估能力
预防性能力	事后维修	前期缺陷预警	降低维修成本30%
风险隐患	二次损伤风险	原位在线检测	保证设备100%完好率

二、无损检测技术在电梯检验中的实践应用

（一）红外检测技术应用

1. 电机检测

电机是电梯运行动力部件，电机运行中铁芯损耗、绕组电阻以及部件磨损等因素影响，导致电机释放大量的热量，各位置温度分布趋于稳定状态。但电机一旦出现故障问题，各部位发热特点随之改变，机械摩擦等区域温度异常升高。采用红外检测技术检测电梯电机缺陷，其原理根据物体热辐射特性进行检测。物体温度高于 -273.15°C 绝对零度，均会散发热辐射红外线，物体释放热量温度越高，辐射能量越强。使用红外热像仪设备进行检测，精准捕捉电梯电机表面辐射红外线信号，并转化为直观、可视的热图像。分析不同区域颜色、温度数值，即可帮助检测人员精准定位电机异常温度分布情况。如，绕组过热时局部温差达到 15°C 以上；轴承故障下轴向温度梯度在 $8^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ 以上^[3]。电机红外线检测中，电机保持额定负载状态运行，按照采样频率 30Hz 使用热像仪采集温度场数据，检测持续时间不小于 30min ；电梯断电后，跟踪分析电机冷却曲线，如果电机降温速率在 $1.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 以下，判定为电机散热异常。

电梯电机红外线检测中，全方位扫描电梯电机运行状况，重点检测电机轴承、转子、定子绕组等关键位置。红外线发射率 0.93 ，环境温度补偿温度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，按照 10cm ，围绕电机轴线进行螺旋扫描；采集图像分辨率 640×480 像素，温度灵敏度不超过 0.05°C 。以电机轴承位置为例，一旦轴承位置温度异常升高，可能是轴承润滑不良、磨损严重，使用红外热像仪即可精准检出轴承异常温度问题。采用红外检测技术实时监测电梯电机运行状态，能及时发现故障隐患，并且根据收集的数据建立数据库，为电梯电机预防维护提供温度数据依据，编制合理的电机维护保养计划，降低维护成本^[4]。

2. 三相电平衡检测

三相电系统主要功能在于提供电梯运行动力，保证三相电平衡即可保证动力稳定输出。正常状态下，三相电电流、电压幅值相等，相位互差 120° ，但电梯实际运行中很难达到这一标准，其根本在于线路阻抗差异或是负载失衡等因素存在，容易导致电梯三相电失衡。一旦电梯三相电失衡，将导致电梯电机异常发热，产生异常噪音，加快电梯元器件老化，降低电机运行效率，为电梯安全稳定运行埋下一系列隐患^[5]。

使用红外线检测技术检测电梯三相电平衡问题，一旦失衡，部分电流值较大的向线会释放大量热量。检测人员可以针对性红外检测三项母线、接触器等区域，对比分析三相线路各区域温度变化情况，如果某一相接线端子温度高出其他两相 10°C ，则说明电梯三相电失衡。其原因可能是相连接松动，使得接触电阻增加，接线端子出现异常发热现象，威胁电梯运行安全。

3. 变频器检测

变频器在电梯运行中占据重要地位，其功能在于调整电源频率、电压值，控制转速来实现电梯的平稳、安全运行。但由于电梯电磁环境复杂，运行环境普遍湿度较高，加之频繁其停下不可

避免导致电子元件故障受损，如果处理不及时，则会威胁电梯正常运行^[6]。典型故障包括电解电容老化，变频器外壳温度超出额定 55°C ，IGBT 模块失效，邻近单元温差在 15°C 以上。在电梯变频器检测中，红外检测技术可逐一扫描散热器、外壳、电路板等关键部位，确定具体的温度分布情况。如果某区域温度异常升高，其原因可能是功率模块散热性能不高导致；散热片局部温度过高，表面积聚灰尘较多，导致热量无法及时排出，导致变频器温度异常升高。电路板检测时，检测焊点区域虚焊、开裂等问题，及时组织技术人员维修和保养，更换受损元件，从而提高电梯运行稳定性^[7]。

4. 制动器检测

电梯安全系统中，制动器主要负责控制电梯启停、减速等，制动器性能高低，很大程度上决定了电梯运行安全、可靠。电梯制动器的工作原理基于弹簧力与电磁力的协同作用，制动器电磁线圈通电后，吸引衔铁，在制动臂驱动制动闸瓦运作，能够有效克服弹簧压力张开，并且与制动盘完全脱离，实现电梯自由、安全运转。电梯需要停止运行，保持静止状态，电磁线圈断电后磁场消失，制动臂即可快速复位，在制动闸瓦与制动盘之间的摩擦力作用下，保证电梯轿厢平稳停止。制动器故障产生原因多样，一是机械部件摩擦老化，出现不同程度的变形问题，降低电梯制动力^[8]。电气控制部分故障，制动器控制电梯轿厢正常开合。使用红外线检测技术检测电梯制动器运行状态，扫描制动闸瓦、电磁线圈、制动轮以及制动弹簧关键部件，一旦某部件温度异常升高，即可快速捕捉远超正常范围的温度数据，及时维修处置，保障电梯运行安全。具体红外线检测电梯制动器时，组织三挡制动实验，分别为空载、 50% 负载以及 100% 负载状态，制动初始速度 $1.0\text{m/s} \sim 1.5\text{m/s}$ ；环境温度补偿范围 $-10^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ ，按照 5mm 间距进行扫描。

（二）磁感检测技术应用

根据电磁感应原理，电梯检验中采用磁感检测技术。同样可以掌握电缆、电机以及制动系统的运行状态，此类部件运行中离不开电流支持，适合磁感检测技术有效应用。电梯电机检测中运用磁感检测技术，直观反馈电机绕组状况，电机绕组电流输出稳定，即可创设均匀的磁场。如果绕组出现短路、匝间短路等故障，电流分布不均匀，导致磁场出现异常现象^[9]。磁感传感器在特定位置安装，实时捕捉磁场变化情况，如果发现某区域磁场骤变，根据历史数据和电梯参数即可精准判断电机是否存在故障问题，为电梯安全稳定运行提供坚实保障。具体需要设定激励频率范围在 $1\text{kHz} \sim 100\text{kHz}$ 范围，并使用 16×16 阵列探头对电梯全面扫描；电梯关键位置设置的传感器精度为 $\pm 0.1\text{mT/m}$ ，扫描速度不超过 0.5m/s ；电梯缺陷量化模型为 $d=0.25 \cdot \Delta H/H_0$ ， d 为裂纹深度， H_0 为背景磁场。

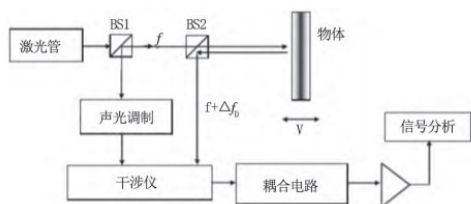
电梯电缆磁感检测时，随着时间推移，电缆会出现不同程度的老化、破损等现象，诱发漏电事故，严重威胁电梯运行安全。采用磁感检测技术，收集电缆磁场状况反馈电缆运行状态，一旦电缆绝缘层受损，出现漏电事故，则会导致磁场混乱。采用高灵敏度磁感检测设备，精准检测环绕电缆磁场状况，磁场异常波

动,即可快速定位电缆故障区域,更换或维修电缆,保障电梯电力输送安全。

电梯制动系统磁感检测中,制动系统运行安全稳定关系到电梯运行安全。电梯制动系统运作中,电磁铁通电或断电时磁场会产生显著变化,依据这一原理即可综合评估制动系统电磁铁性能。电磁铁一旦出现线圈故障、铁芯卡滞等故障问题,磁场变化曲线波动剧烈,断电时磁场衰减为零,铁芯卡滞则导致磁场衰减速度放缓。因此,收集电梯磁场数据信息,便于第一时间发现和解决制动系统故障问题,避免电梯运行时制动系统失效诱发安全事故^[10]。

(三) 激光检测技术应用

激光检测技术具有高能量密度和高方向性特点,在电梯检验中不会改变其结构和性能,如图1。激光检测技术在电梯检验中应用,多采用 FARO Vantage 跟踪仪,扫描效率达到1000点/秒;检测门板平面度,按照0.1MPa 气压模拟电梯运行过程的振动现象;激光检测频率5MHz,按照分辨率0.2mm 检测电梯各部件状况,在曳引轮缺陷检测方面效果显著。



> 图1 激光检测装置构成和原理

电梯导轨检测中运用激光检测技术,传统检测方式采用线锤、钢直尺等工具,效率和精度偏低。而采用激光检测技术,通过专用设备发射激光束,接触导轨后根据激光反射关系,精准获取导轨各项参数。例如,采用激光准直仪和测距仪设备进行导轨直线度检测,先将激光准直仪从井道顶部发出激光线,激光测距仪则设置在轿厢顶部位置,电梯运行过程中,轿厢和激光直线的间距发生变化,根据数据波动即可了解导轨是否存在变形、弯曲等现象,为后续的导轨直线度偏差调整控制提供支持。

电梯轿厢门检测中运用激光检测技术,能够及时发现轿厢门开关动作是否存在异常现象,保障轿厢乘客安全。一般情况下,为了保证电梯轿厢门运行安全,多选择激光光幕传感器,通过发射多束平行激光束构成激光光幕,一旦有物体遮挡光幕中的光线,则会理解将信号传递给电梯控制系统,即将关闭的轿厢门重新打开,借此来规避夹住人或物的事故。部分电梯事故正是由于轿厢门激光光幕传感器失效,未检测到人或物被轿厢门夹住,正常上升后出现安全事故。因此,使用激光位移传感器采集轿厢门数据,可以发现系统故障所在,分析是否传感部件损坏或电机故障等原因导致,组织技术人员及时维修处理,为电梯轿厢门正常启闭提供保障。

(四) 超声波检测技术应用

电梯检验中运用超声波检测技术,发射20kHz 以上的声波,发挥此种声波能量集中以及穿透力强的优势特点,实现电梯部件缺陷的精准检测。超声波检测技术应用中,控制超声探头频率为

2MHz ~ 10MHz,动态范围 $\geq 60\text{dB}$ 。电梯的金属结构件超声波检测中,在金属结构件表面耦合超声换能器,通过发射和接收超声波,分析超声波遇到缺陷时的折射或反射情况,从而精准判定缺陷位置、大小、深度、走向。例如,如果电梯表面裂纹浅显,短时间内出现幅度较大的回波信号,较深的裂纹则出现较晚的回波信号、幅度较小。采用此种检测方式,及早发现电梯金属结构件潜在隐患,及时组织人员进行处置,避免电梯安全事故出现。电梯焊缝超声波检测中,检测灵敏度较高,工作人员按照焊缝方向布置超声换能器,从而实现全方位扫描检查电梯焊缝质量。如果超声波传播顺畅,信号接收平稳,则说明焊缝并未存在气孔、未焊透等缺陷;如果超声波出现散射、反射等现象,接收到的信号则会产生异常波动,说明存在焊缝缺陷,精准定位焊缝位置、大小。例如,超声波传输中遇到未焊透的焊缝缺陷,会产生反射回波,对比正常焊缝超声波传输波形,即可辅助检测人员分析焊缝类型和位置,为后续的焊缝修复提供支持。

三、结论

综上所述,电梯作为一种垂直运输的特种设备,维护电梯安全运行至关重要。因此,在电梯安全检验中采用无损检测技术,能在不干扰电梯正常运行前提下,精准获取电梯各部件是否存在缺陷问题,并及时反馈给检测人员修复处理,消除潜在安全隐患,为电梯运行安全保驾护航。

参考文献

- [1] 郑波,黄财青.无损检测技术在电梯检验中的应用[J].科技视界.2019,(23).
- [2] 丁丽.电梯检验检测技术的应用及发展[J].科学技术创新.2018,(20).
- [3] 甘昊.无损检测技术在电梯钢丝绳检测中的应用[J].特种设备安全技术.2018,(4).
- [4] 刘艳宇.无损检测技术在电梯检验中的应用[J].品牌与标准化,2023,(05):136-138.
- [5] 王森.电梯曳引钢带内部钢丝绳无损检测系统研制[D].中国计量大学,2023.
- [6] 杨江.电梯曳引钢带的漏磁检测技术研究[D].东北石油大学,2023.
- [7] 王森.电梯曳引钢带内部钢丝绳无损检测系统研制[D].中国计量大学,2023.
- [8] 黄晓晨.浅议电梯检验检测技术的应用及发展[J].中国设备工程,2022,(20):156-158.
- [9] 郭栋.电梯检验检测技术及过程安全管理探析[J].中国标准化,2022,(14):137-140.
- [10] 饶晓慧.电梯钢带疲劳及损伤的电磁无损检测技术[J].电子技术与软件工程,2021,(13):213-214.
- [11] 李万里.无损检测技术在电梯检验中的应用[J].住宅与房地产,2020,(09):226.