

用于超高速电梯钢丝绳的维保和检测方法

李文强

天津市特种设备监督检验技术研究院

DOI:10.32629/btr.v8i8.4969

[摘要] 超高速电梯作为高层建筑的关键垂直交通设备,钢丝绳作为其核心承重与传动部件,运行安全性至关重要。超高速电梯运行工况复杂,钢丝绳长期处于高应力、摩擦、腐蚀环境,易出现磨损、断丝、锈蚀等损伤。本文深入分析超高速电梯钢丝绳的运行环境特点、结构性能要求及损伤机理,同时详细介绍传统检测与现代无损检测技术,构建科学运维体系,为保障超高速电梯钢丝绳安全运行、延长使用寿命提供全面实践指导。

[关键词] 超高速电梯; 钢丝绳; 维保方法; 检测技术

中图分类号: TU857 文献标识码: A

Maintenance and Inspection Methods for Steel Wire Ropes of Ultra-High-Speed Elevators

Wenqiang Li

Tianjin Special Equipment Supervision and Inspection Technology Research Institute

[Abstract] As key vertical transportation equipment in high-rise buildings, ultra-high-speed elevators rely on steel wire ropes as their core load-bearing and transmission components, making operational safety critically important. Ultra-high-speed elevators operate under complex working conditions, with steel wire ropes being exposed to high stress, friction, and corrosive environments for extended periods, making them prone to damage such as wear, broken wires, and corrosion. This paper deeply analyzes the operating environment characteristics, structural performance requirements, and damage mechanisms of steel wire ropes in ultra-high-speed elevators. It also provides a detailed introduction to both traditional inspection and modern non-destructive testing technologies, constructing a scientific operation and maintenance system to provide comprehensive practical guidance for ensuring the safe operation and extending the service life of steel wire ropes in ultra-high-speed elevators.

[Key words] ultra-high-speed elevator; steel wire rope; maintenance method; inspection technology

引言

在城市化进程加速、超高层建筑不断涌现的当下,超高速电梯(速度 $\geq 4\text{m/s}$)凭借其高效的垂直运输能力,成为现代建筑不可或缺的核心设备。因此,深入研究超高速电梯钢丝绳的维保与检测方法,剖析其工作特性与损伤机理,建立科学完善的运维体系,对于保障电梯安全运行、保障人员生命安全以及延长设备使用寿命具有极其重要的现实意义。

1 超高速电梯钢丝绳的工作特性与损伤机理

1.1 超高速电梯运行环境特点

超高速电梯的运行环境具有显著特殊性,与普通电梯相比,其环境条件对钢丝绳的损伤影响更为突出,主要体现在三个方面。一是运行工况复杂,超高速电梯速度普遍 $\geq 4\text{m/s}$,部分高端电梯速度可达 10m/s 以上,启停频繁且加速度大,导致钢丝绳承受的拉伸应力、弯曲应力、扭转应力呈现周期性交变,长期处于

高应力状态下易加速疲劳损伤。二是空间环境特殊,超高速电梯井道高度高、空间密闭,井道内温度分布不均,顶部与底部温差可达 $5\text{--}10^\circ\text{C}$,且空气流通不畅,易积聚灰尘、湿气及腐蚀性气体,加剧钢丝绳锈蚀。三是负载波动大,超高速电梯多用于高层建筑,载客或载货量波动频繁,峰值负载与空载状态交替出现,导致钢丝绳受力不稳定,同时曳引轮与钢丝绳之间的摩擦损耗加剧,进一步缩短钢丝绳使用寿命。此外,部分电梯安装于沿海或化工区域,环境中盐分、有害气体含量较高,会加速钢丝绳的化学腐蚀,增加损伤风险。

1.2 钢丝绳的结构与性能要求

超高速电梯钢丝绳的结构与性能需严格适配其复杂运行工况,核心结构与性能要求具有明确针对性。结构上,超高速电梯钢丝绳多采用西鲁式、瓦林杆式等复合型捻制方式,由绳芯、钢丝绳束捻制而成,绳芯多选用钢芯或高强度纤维芯,钢芯可提升钢

钢丝绳的承载强度与抗疲劳性能,纤维芯则能增强润滑性、缓冲振动。钢丝绳的钢丝多采用高强度碳素结构钢,直径通常为8-16mm,捻距需精准控制,确保受力均匀,避免局部应力集中。性能上,超高速电梯钢丝绳需满足高强度、高抗疲劳、高耐磨性、高耐腐蚀性四大核心要求,其抗拉强度需达到1570MPa以上,断裂伸长率不低于10%,同时需具备良好的韧性,能承受频繁的交变应力而不发生断裂^[1]。此外,钢丝绳表面需具备良好的润滑性能,减少与曳引轮、导向轮的摩擦损耗,且需具备一定的抗锈蚀能力,适配电梯井道的密闭环境。

1.3 钢丝绳的损伤机理分析

超高速电梯钢丝绳的损伤是多种因素协同作用的结果,其损伤机理复杂,主要分为磨损、锈蚀、疲劳断丝三大类,且各类损伤相互影响、相互加剧。磨损失效机理主要源于钢丝绳与曳引轮、导向轮的外部摩擦,以及钢丝之间的内部摩擦,超高速运行时摩擦应力增大,导致钢丝绳表面材料逐渐脱落,钢丝直径减小、表面光滑度下降,长期磨损会使钢丝绳强度降低,最终引发断裂。锈蚀失效机理分为化学锈蚀与电化学锈蚀,井道内湿气、灰尘及腐蚀性气体与钢丝发生化学反应,破坏钢丝表面氧化层,形成锈迹与点蚀,电化学锈蚀则源于不同金属接触产生的电位差,加速钢丝腐蚀,锈蚀会降低钢丝绳的韧性与强度,加剧疲劳损伤。疲劳断丝机理是超高速电梯钢丝绳最主要的损伤形式,长期交变应力作用下,钢丝表面出现微小裂纹,裂纹不断扩展,最终导致钢丝断裂,断丝数量累积到一定程度会引发钢丝绳整体失效,危及电梯运行安全。

2 超高速电梯钢丝绳的维保方法

2.1 日常维护保养内容与周期

超高速电梯钢丝绳的日常维护保养是预防损伤、延长使用寿命的基础,需明确具体内容与固定周期,确保运维常态化。日常维护保养内容主要包括清洁、润滑、外观检查三大核心环节,清洁需采用高压空气或专用清洁剂,清除钢丝绳表面的灰尘、油污、锈迹,避免杂质加剧摩擦与锈蚀;润滑需选用适配超高速工况的高性能润滑脂,均匀涂抹于钢丝绳表面及捻缝之间,确保润滑充分,减少摩擦损耗,同时起到防腐作用;外观检查需采用目视结合放大镜的方式,检查钢丝绳是否存在断丝、锈蚀、磨损、变形等异常,重点关注钢丝绳与曳引轮接触部位及弯曲处。日常维护保养周期需严格遵循行业标准,正常运行情况下,每日需进行1次外观检查与清洁,每周进行1次润滑保养,每月进行1次全面外观排查,确保及时发现并处理轻微损伤,避免损伤进一步扩大。

2.2 定期维护保养策略

定期维护保养是超高速电梯钢丝绳维保的核心环节,需结合运行工况与使用年限,制定针对性的保养策略,确保维保质量。定期维护保养需按季度、半年、年度划分不同周期,季度保养重点对钢丝绳的润滑状态、磨损程度、绳头固定情况进行全面检查,调整钢丝绳的张力,确保各根钢丝绳受力均匀,更换老化的润滑脂,清除钢丝绳表面的顽固污渍与锈迹;半年保养需对

钢丝绳进行全面清洁与润滑,检查钢丝绳的捻距变化、绳芯状态,对轻微断丝进行处理,检查曳引轮、导向轮的磨损情况,避免因轮体磨损加剧钢丝绳损伤;年度保养需进行全面检测与维护,包括钢丝绳的拉伸强度测试、疲劳性能检测,更换达到磨损极限或断丝超标的钢丝绳,对钢丝绳的固定装置进行全面检修,确保其连接牢固,同时对维保记录进行整理分析,优化后续维保策略^[2]。

2.3 特殊情况下的维保措施

超高速电梯钢丝绳在特殊工况下易出现异常损伤,需采取针对性的维保措施,防范安全风险。特殊情况主要包括电梯长期停运、极端环境运行、故障后恢复运行三种场景,电梯长期停运(超过15天)时,需对钢丝绳进行全面清洁、润滑,放松钢丝绳张力,避免长期受力导致疲劳变形,定期(每7天)转动钢丝绳,防止局部锈蚀,恢复运行前需进行全面检查,确认无异常后再投入使用;极端环境(高温、高湿、沿海腐蚀环境)运行时,需缩短维保周期,增加清洁与润滑频次,选用耐腐蚀、耐高温的润滑脂,定期检查钢丝绳的锈蚀情况,及时处理轻微锈蚀;电梯发生故障(如钢丝绳断丝、磨损超标、张力不均)后,需立即停止运行,对钢丝绳进行全面检测,更换损伤严重的钢丝绳,调整张力,对相关部件进行检修,进行空载试运行,确认无异常后,方可恢复正常运行,同时完善故障记录,分析损伤原因,优化维保措施。

2.4 维保过程中的安全注意事项

超高速电梯钢丝绳维保过程中,安全是首要前提,需严格遵循安全操作规范,落实各项安全注意事项,防范人身与设备安全事故。维保人员需持证上岗,熟悉超高速电梯的结构与运行原理,佩戴齐全安全防护用品(安全帽、安全带、防滑鞋等),严禁无证操作。维保前需切断电梯电源,设置警示标志,防止电梯意外启动,同时将电梯轿厢固定在安全位置,确保钢丝绳处于松弛状态,避免维保过程中钢丝绳受力突然变化。维保过程中,严禁违规操作,不得随意调整钢丝绳的张力与固定装置,不得使用不合格的润滑脂与维修工具,清洁、润滑、检查过程中,需避免工具划伤钢丝绳表面。维保完成后,需进行全面检查与空载试运行,确认钢丝绳运行正常、无异常声响、张力均匀后,方可拆除警示标志,恢复电梯正常运行,同时做好维保记录,留存维保痕迹,便于后续追溯与排查。

3 超高速电梯钢丝绳的检测技术

3.1 传统检测方法

传统检测方法是超高速电梯钢丝绳检测的基础,具有操作简便、成本低廉、适用性广的特点,主要用于钢丝绳外观损伤的初步排查,核心包括目视检测、卡尺测量、放大镜检测三种方法。目视检测是最常用的检测方法,由专业检测人员通过肉眼观察钢丝绳的表面状态,判断是否存在断丝、锈蚀、磨损、变形、捻距变化等异常,重点关注钢丝绳的弯曲处、绳头部位及与曳引轮接触部位,操作简便但对微小损伤的识别精度较低,易出现漏检。卡尺测量主要用于检测钢丝绳的直径变化,通过卡尺定期测量钢丝绳的直径,与标准直径对比,判断磨损程度,当直径磨损

量超过公称直径的7%时,需及时更换钢丝绳,该方法精准度较高,但只能检测表面磨损,无法检测内部损伤。放大镜检测主要用于辅助目视检测,选用10-20倍放大镜,观察钢丝绳表面的微小断丝、点蚀等损伤,提升微小损伤的识别精度,弥补目视检测的不足,但其检测效率较低,不适用于大规模、快速检测^[3]。

3.2现代无损检测技术

3.2.1漏磁检测技术

漏磁检测技术是超高速电梯钢丝绳无损检测的主流技术之一,具有检测速度快、精度高、可检测内部损伤的优势,广泛应用于钢丝绳的批量检测。其核心原理是利用钢丝绳的ferromagnetic特性,通过励磁装置使钢丝绳磁化,当钢丝绳存在断丝、锈蚀、磨损等损伤时,磁场会发生畸变,产生漏磁信号,通过传感器捕捉漏磁信号,经数据处理与分析,判断损伤的位置、类型与严重程度。该技术可同时检测钢丝绳的表面与内部损伤,检测速度可达1-2m/s,适配超高速电梯钢丝绳的检测需求,且检测过程中不损伤钢丝绳,可实现在线检测。但该技术对检测环境要求较高,需清除钢丝绳表面的油污、锈迹,避免杂质干扰检测信号,同时对细小裂纹的检测灵敏度有待提升。

3.2.2声发射检测技术

声发射检测技术是一种动态检测技术,主要用于检测钢丝绳的疲劳损伤与实时损伤扩展,具有实时监测、灵敏度高的优势,适用于超高速电梯钢丝绳的长期监测。其核心原理是钢丝绳在受力过程中,当出现裂纹扩展、断丝等损伤时,会释放出弹性波(声发射信号),通过声发射传感器捕捉信号,经放大、滤波、分析,判断损伤的位置、扩展速度与严重程度,可实现损伤的早期预警。该技术可在电梯正常运行过程中进行在线监测,无需停机,不影响电梯正常使用,且能实时捕捉损伤的动态变化,为维保工作提供精准指导。但该技术易受外界干扰(如电梯运行噪音、环境振动),检测信号的识别与分析难度较大,对检测人员的专业素养要求较高。

3.2.3激光扫描检测技术

激光扫描检测技术是一种高精度、非接触式的无损检测技术,主要用于检测钢丝绳的表面磨损、直径变化与变形,适配超高速电梯钢丝绳的精准检测需求。其核心原理是利用激光扫描装置,向钢丝绳表面发射激光,通过接收反射激光信号,构建钢丝绳的三维轮廓,经数据处理与分析,精准测量钢丝绳的直径、磨

损量、捻距变化及变形情况,判断损伤程度。该技术检测精度高,可检测到0.1mm的直径变化与微小磨损,且非接触式检测不会损伤钢丝绳表面,检测效率较高,可实现批量检测^[4]。但该技术设备成本较高,对检测环境的光线、灰尘要求严格,且无法检测钢丝绳的内部损伤,需与其他检测技术配合使用。

3.2.4多技术融合检测方法

多技术融合检测方法是结合多种无损检测技术的优势,构建全方位、精准化的检测体系,解决单一检测技术的局限性,适用于超高速电梯钢丝绳的全面检测。核心融合方式为“漏磁检测+声发射检测+激光扫描检测”,漏磁检测负责检测钢丝绳的内部与表面断丝、锈蚀,声发射检测负责实时监测损伤扩展情况,激光扫描检测负责精准测量磨损与变形,三者协同作用,实现对钢丝绳损伤的全方位、多维度检测。该方法可整合各技术的优势,弥补单一技术的不足,提升检测的精准度与全面性,同时可实现检测数据的融合分析,构建钢丝绳损伤评估模型,为维保决策提供科学依据。但该方法设备投入成本较高,检测流程较为复杂,对检测人员的专业能力要求较高,目前主要应用于高端超高速电梯的钢丝绳检测。

4 结束语

超高速电梯钢丝绳的维保与检测工作是保障电梯安全稳定运行的关键环节,关乎人员生命安全与设备使用寿命。同时,系统介绍了传统检测方法与现代无损检测技术,构建了较为科学的运维体系。未来,需持续优化维保流程,推动无损检测技术的升级与融合,提升运维智能化水平,从而为超高速电梯钢丝绳的安全稳定运行提供更为坚实的技术支撑,助力超高速电梯行业的高质量发展。

[参考文献]

- [1]马幸福,李邦彦,向长生.4m/s超高速电梯系统的主参数配置与计算[J].机械管理开发,2024,39(5):15-18.
- [2]李娟娟.电梯钢丝绳有限元分析[J].中国特种设备安全,2024,40(12):14-18.
- [3]余瑞木.电梯钢丝绳的检测与维护[J].大众标准化,2025(9):173-175.
- [4]赵陆.电梯钢丝绳损伤检测装置设计[J].机械管理开发,2024,39(12):105-106,109.