

电梯不同载荷下振动特性实验研究

张志维, 顾永兵*

宁夏特种设备检验检测研究院, 宁夏 银川 750000

DOI:10.61369/ERA.2025100011

摘 要 : 为探究载荷变化对电梯振动特性及乘坐舒适性的影响规律, 本研究以某曳引式乘客电梯为对象, 构建覆盖空载至满载的6级载荷梯度(0%、20%、40%、60%、80%、100% 额定载荷), 通过标准砝码与人员组合精确加载, 并采用高精度加速度传感器(DT178A)采集轿厢Z向(垂直轿壁方向)振动数据。系统分析不同载荷下电梯运行时的振动加速度特征值。实验发现: 电梯振动强度与载荷呈非线性正相关; 在40%–60% 载荷区间振动速率显著提升, 其中60% 载荷时最大振动加速度达0.29g, 舒适性劣化最明显; 而100% 满载时振动曲线平缓(最大加速度0.25g)。结果表明, 特定载荷区间(尤其是60% 额定载荷)是振动控制的关键工况。本研究揭示了载荷梯度变化下振动特性的演变规律, 为电梯减振设计优化及科学载荷管理提供了理论依据与实践指导。

关 键 词 : 电梯振动; 载荷影响; 振动测试; 乘坐舒适性

Experimental Study on Vibration Characteristics of Elevators under Different Loads

Zhang Zhiwei, Gu Yongbing*

Ningxia Institute of Special Equipment Inspection and Testing, Yinchuan, Ningxia 750000

Abstract : To investigate the influence of load variation on elevator vibration characteristics and ride comfort, this study examines a traction passenger elevator. Six load gradients spanning from empty load to full load (0%, 20%, 40%, 60%, 80%, and 100% of rated load) were implemented using a combination of standard weights and human occupants for precise loading. High-precision acceleration sensors (DT178A) were employed to collect vibration data in the Z-direction (perpendicular to the car walls). The characteristic values of vibration acceleration during elevator operation under different loads were systematically analyzed. Experimental findings reveal: elevator vibration intensity exhibits a nonlinear positive correlation with load; within the 40%–60% load range, vibration acceleration increases significantly, reaching a peak value of 0.29g at 60% load where ride comfort deterioration is most pronounced; while at 100% full load, the vibration curve stabilizes (maximum acceleration: 0.25g). Results indicate that specific load ranges – particularly 60% rated load – represent critical conditions for vibration control. This study elucidates the evolution of vibration characteristics under gradient load variations, providing theoretical foundations and practical guidance for optimizing elevator vibration-damping designs and scientific load management.

Keywords : elevator vibration; load effect; vibration testing; ride comfort

引言

随着城市化进程加速与高层建筑普及, 电梯已成为现代建筑不可或缺的垂直交通工具。乘客乘坐舒适性作为电梯核心性能指标, 直接影响用户体验与建筑价值, 而振动性能则是评价舒适性的关键因素。良好的振动舒适性不仅能提升用户满意度, 更能有效降低乘客的疲劳与不适感, 对于高层建筑中高频使用电梯的人群尤为重要。

电梯运行过程中, 载荷变化是不可避免的常态工况。不同载荷条件下, 电梯系统的动力学特性(如质量分布、导轨受力变形、驱动系统响应)将发生显著变化, 进而深刻影响其振动特性与舒适性。因此, 系统研究载荷变化对电梯振动特性的影响规律, 对于优化设计参数、改进减振措施、制定科学维护策略具有重要的理论与应用价值, 可为电梯制造与运维行业提供关键支撑。

国内外学者在电梯振动领域已开展了广泛研究。国内方面, 宋丹龙等通过导轨安装和变形误差分析, 建立了正弦激励、三角激励、

作者简介: 张志维(1992—), 男, 汉族, 甘肃武山人, 大学本科, 助理工程师, 从事特种设备检验检测工作。邮箱: 420487971@qq.com。

通讯作者: 顾永兵(1988—), 男, 回族, 宁夏银川人, 大学本科, 工程师, 过程装备与控制专业, 从事特种设备检验检测研究。邮箱: 919881845@qq.com。

阶跃激励和脉冲激励等4种导轨激励模型；通过状态空间方法求解了轿厢系统振动加速度响应，分析了导轨激励分布和模型、运行速度、导轨弹簧刚度及轿厢系统参数等因素对电梯横向振动响应的影响规律^[1]；王威分析了电梯垂直方向的振动研究是提高电梯运行性能的关键，基于曳引比为2：1的电梯系统，建立垂直方向上的动力学模型，分析轿厢载重和提升高度等参数对轿厢振动的影响及参数变化时系统的谐振响应和惯性力响应^[2]。国外方面取得了显著进展，Dongsheng Cong等基于O-sliceing多区域网格分层法建立三维非稳态数值模型，采用Newmark-b法求解多自由度电梯系统的振动响应^[3]；Dong-Ho Yang等研究了建筑物和电梯绳索耦合振动的理论建模和实验验证。电梯绳由支撑罐笼的主绳和连接到补偿轮的补偿绳组成。电梯钢丝绳是一种低阻尼的柔性导线，因此容易产生振动。在高层建筑的情况下，绳索长度也显著增加，使电梯绳索的基频接近建筑物的基频，从而增加共振的可能性^[4]。

尽管已有成果丰硕，但针对载荷连续变化与振动特性之间定量关系的系统性实验研究仍显不足，现有工作多聚焦于特定离散载荷点，缺乏对载荷梯度变化全过程中振动演变规律的深入刻画^[5-7]；评价方法上，综合运用时域与频域分析进行多维度评价的研究较少。本研究旨在通过精心设计涵盖0%至100%额定载荷范围的梯度实验方案，采用测试设备与分析手段，系统探究电梯振动特性随载荷变化的规律，为电梯振动优化设计提供更全面的理论依据与实践指导。

一、实验设计与方法

（一）实验对象与参数

本研究选用某品牌曳引式乘客电梯作为实验平台，其主要技术参数详见表1。

表1 实验电梯主要技术参数

额定载重量	额定运行速度	轿厢尺寸（宽×深×高）	导轨类型	曳引系统	控制方式	运行高度（总行程）
800 kg	1.0 m/s	1300 mm × 1450 mm × 2100 mm	T型钢导轨（规格T90/B）	永磁同步无齿轮曳引机	变频调速VVVF控制	12 m

（二）加速度传感器的选型

在进行加速度测试之前，选择合适的加速度传感器至关重要。加速度传感器的选型需考虑多个因素，包括测量范围、灵敏度、频率响应、抗干扰能力等^[8]，本研究对起重机空载启停加速度进行测试，为确保能够实时捕捉小车启停过程加速度，故选用

表2 实验载荷分级方案性

载荷比例	实际载荷(kg)	载荷比例	实际载荷(kg)	载荷比例	实际载荷(kg)	载荷比例	实际载荷(kg)	载荷比例	实际载荷(kg)	载荷比例	实际载荷(kg)
0%	0	20%	160	40%	320	60%	480	80%	640	100%	800

二、实验结果与讨论

（一）轿厢20% 载荷

轿厢在20% 载荷下上下运行一个周期时，Y向最大振动加速度为0.22g，振动速率显著加快，加速度曲线如图2所示。

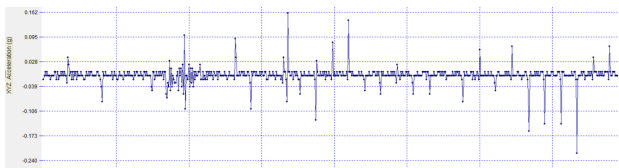
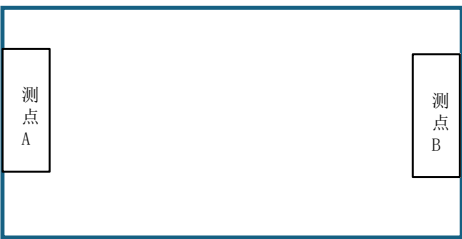


图2 轿厢20% 载荷振动加速度曲线

型号DT178A（测量范围±10g；分辨率0.00625g；最小采样率100ms；频率范围0-60Hz）加速度测试记录仪和笔记本电脑。

（三）传感器的布置

为确保实验的准确性和全面性，传感器通过磁座分别安装于轿厢的左右轿壁（测点A和测点B），安装方向定义如1所示。



（四）载荷分级与实施方案

为系统研究载荷影响，设计了覆盖空载至满载的6级载荷梯度（如表2）。载荷通过标准砝码与测试人员组合精确施加，测试人员均匀分布于轿厢内以避免偏载。每个载荷等级重复测试3次以确保数据可靠性及可重复性，试验分析中仅针对其中一台测试仪Z向（垂直轿壁方向）振动加速度特征值进行提取与分析。

（二）轿厢40% 载荷

轿厢在40% 载荷下上下运行一个周期时，Y向最大振动加速度为0.26g，振动速率显著较快，加速度曲线如图3所示。

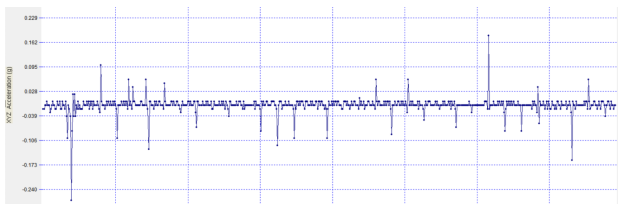


图3 轿厢40% 载荷振动加速度曲线

（三）轿厢60% 载荷

轿厢在60% 载荷下上下运行一个周期时，Y 向最大振动加速度为0.29g，振动速率显著较快，加速度曲线如图4所示。

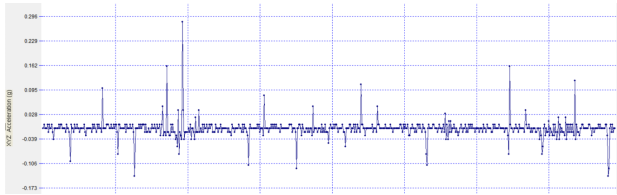


图4 轿厢 60% 载荷振动加速度曲线

（四）轿厢80% 载荷

轿厢在80% 载荷下上下运行一个周期时，Y 向最大振动加速度为0.18g，振动速率较快，加速度曲线如图5所示。

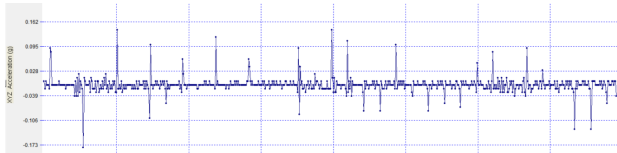


图5 轿厢 80% 载荷振动加速度曲线

（五）轿厢100% 载荷

轿厢满载（100% 载荷）上下运行一个周期时，Y 向最大振动加速度为0.25g，加速度曲线整体平缓，如图6所示。

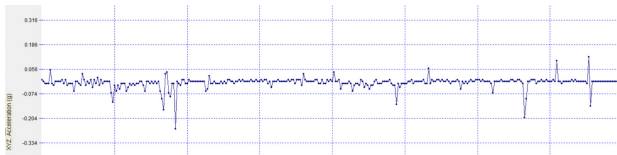


图6 轿厢 100% 载荷振动加速度曲线

（六）结果分析

通过对不同载荷条件下电梯运行的振动数据进行系统分析，

本研究揭示了电梯振动特性与载荷变化的关系规律。综合分析表明，电梯振动强度与载荷呈非线性正相关；在40%–60% 额定载荷区间，振动速率明显高于其他载荷，且在60% 载荷下振动加速度最大，舒适性显著降低。这一发现对电梯设计优化及载荷管理具有重要指导意义。

三、结论

本研究通过系统化的梯度载荷实验（0%、20%、40%、60%、80%、100% 额定载荷），结合高精度加速度传感器对电梯轿厢 Z 向（垂直轿壁方向）振动特性进行测试与分析，揭示了载荷变化对电梯振动特性及乘坐舒适性的影响规律。主要结论如下：

（1）载荷与振动的非线性关系：电梯振动强度随载荷增加呈非线性正相关，但振动幅值变化存在显著区间性差异。

（2）关键载荷区间识别：在 40% – 60% 额定载荷区间，电梯振动速率明显提升，其中 60% 载荷 时振动最为剧烈（最大振动加速度达 0.29g），导致乘坐舒适性显著劣化。

（3）满载工况的稳定性：100% 额定载荷下振动曲线趋于平缓（最大加速度 0.25g），表明满载状态并非振动最恶劣工况。

（4）建议在电梯运行管理中避免长期处于 40% – 60% 载荷区间，以提升乘客舒适性。

通过连续载荷梯度实验与多维度振动分析方法，为电梯振动控制提供了更全面的理论支撑与实践指导^[9,10]。

参考文献

[1] 宋丹龙, 张鹏, 白洋洋, 等. 高速电梯系统横向动力学建模与振动特性分析 [J]. 机械设计, 2024, 41(10): 23–30.

[2] 王威. 曳引电梯轿厢垂直振动特性研究 [J]. 机械管理开发, 2024, 39(06): 24–26.

[3] Dongsheng Cong et al. Characterization of Horizontal Vibration Response of High-speed Elevator During Intersection with Counterweight after Deflector Optimization[J]. Journal of Vibration Engineering & Technologies, 2025, 13(6) : 396–396.

[4] Dong-Ho Yang et al. Dynamic modeling and experiments on the coupled vibrations of building and elevator ropes[J]. Journal of Sound and Vibration, 2017, 390 : 164–191.

[5] 程红玫. 导轨支架结构参数对电梯振动抑制效果的影响分析 [J]. 高科技与产业化, 2024, 30(09): 29–31.

[6] 帅学超. 基于模型的电梯制动性能评估方法的研究 [D]. 杭州电子科技大学, 2022.

[7] 宋丹龙, 张鹏, 白洋洋, 等. 高速电梯系统横向动力学建模与振动特性分析 [J]. 机械设计, 2024, 41(10): 23–30.

[8] 韩伟, 黄奕勇, 张翔, 等. 空间对接机构碰撞试验系统的开发研究 [J]. 空间科学学报, 2013, 33(05): 548–553.

[9] 韩楠. 探究电梯系统垂直振动分析与抑制 [J]. 中国设备工程, 2024, (16): 100–101.

[10] 罗富方. 曳引驱动乘客电梯振动监测方法及研究进展 [J]. 机械研究与应用, 2024, 37(03): 166–172.