

电梯驱动主机振动检测分析系统的研制探析

何光敏 和云聪

(云南省特种设备安全检测研究院 云南 昆明 650228)

摘要: 随着高层建筑技术的成熟和大面积建设, 电梯已经成为人们日常出行必备的垂直交通工具, 其安全性备受关注。电梯检测是保障电梯运行安全的重要手段, 电梯振动与安全性和舒适性相关性高, 研制电梯驱动主机振动检测分析系统具有重要意义。本文提出了基于主要振源特点的检测分析系统, 简化了振动数据采集装置的结构, 与 EVA 的测试数据进行对比分析表明本系统测得的振动更能够准确反映电梯的运行状态, 测试精度得以有效保证。

关键词: 振动; 检测分析; 电梯

在建筑领域技术高速发展的背景下, 电梯的应用越来越广泛。作为城市高层建筑中必要的交通工具之一, 电梯的安全性和舒适性是重要的评价标准。随着建筑高度的不断增加, 电梯的运行速度不断提升, 驱动主机体积随之提高, 与之相伴而来的振动也更加剧烈, 而振动恰是影响舒适性和评价安全性的重要因素之一。因此, 本文提出基于电梯驱动主机振动特点的振动检测分析系统, 应用滤波算法和信号加窗提高分析结果的准确性。

1 电梯驱动主机振动分析

电梯振动是多因素共同作用的复杂运动系统, 其中驱动主机导致的振动是电梯主要的振源, 以强制卷筒型电梯驱动主机为例, 其三维模型如下所示。

以 $[M]$ 表示系统质量矩阵, $[C]$ 表示阻尼矩阵, $[K]$ 表示刚度矩阵, $x(t)$ 表示加速度, $\dot{x}(t)$ 表示速度, $x(t)$ 表示位移, 则多个自由度的电梯振动系统运动微分方程为:

$$P(t)=[M]\{x(t)\}+[C]\{\dot{x}(t)\}+[K]\{x(t)\} \quad (1)$$

当初始状态为 0 时, 对式 (1) 进行拉氏变换可得,

$$P(s)=(s^2 M+sC+K)X(s) \quad (2)$$

设 $Z(s)=s^2 M+sC+K$, 则式 (2) 为

$$P(s)=Z(s)X(s) \quad (3)$$

其中, s 表示变换因子, $s=\sigma+j\tau$; $s^*=\sigma-j\tau$, $Z(s)$ 表示刚度矩阵。

由于外部载荷固有特性不会发生变化, 因此计算固有特性时, 假设系统不受外力, 则激励力 $P(t)=\{0\}$ 。同时可推导出无阻尼系统自由振动的运动微分方程为:

$$M\{\ddot{x}(t)\}+K\{x(t)\}=0 \quad (4)$$

令主振动为 $x\phi e^{j\omega t}$, 代入式 (4) 可得

$$(K-\omega^2 M)\phi_i=0 \quad (5)$$

其中, ω 表示振动频率, ϕ 表示振型向量。利用 Hypermesh 14.0 和有限元分析求解上式能够获得特征值, 进而求得振型。

本文侧重于搭建电梯驱动主机引起的振动检测分析系统。根据国标《电梯乘用质量测量》的规定, 测量电梯乘用的仪器必须包括: 测量加速度和声压的传感器, 测量声压级的传感器, 数据采集和处理系统。因此本文提出的检测分析硬件部分包括振动传感器、数据采集系统和无线传输系统。

2 振动检测分析系统硬件组成

2.1 主控芯片

电梯驱动主机振动检测对系统动态跟踪速度要求高, 为实现快速动态监测目标, 在检测分析系统中搭载 PGA+ARM 处理器作为主控芯片。它的处理速度快、精度高, 能够实现一个指令周期完成几乎所有运算, 并能外接扑捉单元等模块, 具有出色的数据处理和通讯功能。

2.2 信息收集器

平台需要采集电梯所处楼层信息和电梯的振动信号来实时获取电梯的工作状况。本文选用图像信息处理技术采集和处理电梯屏信息检测电梯运行情况和停留楼层, 选用三轴加速度传感器采集电梯的振动信号, 并利用收集得到的数据分析振动情况。

2.3 具体模块

第一, 信号调理电路。首先利用线性变换控制传感器信号输入电压在 3V 以内, 然后经过运算放大器和滤波电路将稳压的信号主控芯片的 ADC 部分。这里的运算放大器同时还具有隔离作用。

第二, 串行通信。以 ITUV.11 为标准利用 SOP 完成封装, 负荷 3.3V 电源操作要求。在待机模式时保持至少一个接收器处于 128k/s 的工作状态, 最大低待机电流设置为 $5\mu A$ 。

第三, 数字信号处理系统。选用符合 CMOS 标准的 flash 存储器为临时数据储存工具, 设定 8ns 为存取时间间隔。

第四, 电源电路。采用快速响应的双路电源调整器安装在供电电路中, 输出电流在 1A 体内。一端为 3.3V 输出, 另一端可承受 2% 过载。两组芯片对称连接, 用 $2200\mu F$ 和 $100\mu F$ 电容滤波。

3 检测分析

3.1 滤波算法

通常三轴加速度传感器返回值带有大量噪声, 因此即便检测平台处于静止状态, 从输出波形上看原始加速度返回值仍然偏离平静工作点波动剧烈。即, 此时收集到的加速度值包括实际值、直流分量和随机噪声三部分。为了获得可观稳定的加速度数据, 本文选用滤波算法对原始加速度值进行处理。卡尔曼滤波是一种高效的可以迭代递推输入数据的递归滤波器, 不仅能在保证精度的前提下处理和递推数据, 还便于计算机编程, 对硬件的要求不高, 因此本研究中卡尔曼滤波对三轴加速度传感器返回值进行处理。

设某一时刻的振动状态方程为

$$x_t = Ax_{t-1} + Bu_{t-1} + q_{t-1} \quad (6)$$

t 时刻的返回值为

$$y_t = Hx_t + r_t \quad (7)$$

其中, A 表示状态转移矩阵, B 表示控制矩阵, H 表示系统参数, q_t 表示过程噪声, r_t 表示测量噪声。利用新的卡尔曼增益系数更新和修正, 可以推算出 t 时刻的最优系统状态估计值, 以此可以获得较为真实的电梯加速度值。

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k(y_k - H\hat{x}_k^-) \quad (8)$$

3.2 采样频率

检测采样频率的确定是至关重要的, 只有适宜的采样率才能获得更能体现电梯驱动主机振动的数据, 分析的结果才能更趋于真实。确定采样率首先要明确采样信号最高频率、测量系统要求的精度以及系统数据采集性能。为了避免信号频率与原始频率不同引发的畸变导致混叠效应发生, 一般让信号先经过低通滤波器滤掉高于二分之 f_s 的频率成分。针对电梯驱动主机振动的特点, 其发声频率一般处于低频段, 因此经过反复试验采样频率在 1Hz 左右即可, 量程确定为 10Hz。

3.3 信号加窗

为了降低频谱泄漏和栅栏效应带来的影响, 需要应用窗函数截短函数。由于频率不同泄漏不同, 因此通常选择主瓣窄、旁瓣小的加窗, 使得能量更多地集中于主瓣。鉴于采

集的信号是非周期连续的不同幅值信号, 这里采用汉宁窗。其表达式为:

$$\omega[n] = 0.5 - 0.5\cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) \quad (9)$$

频谱可表示为,

$$W_H(\omega) = \frac{1}{2}w_R(\omega) - \frac{1}{4}[w_R(\omega - \frac{2\pi}{N}) + w_R(\omega + \frac{2\pi}{N})] \quad (10)$$

对某一信号 $x(t) = A_m \cos(2\pi f_m t + \phi_m)$ 的加窗频谱为

$$X_H(\omega) = X(\omega) \times W_H(\omega) \quad (11)$$

4 结语

以 EVA 作为对照组, 同样条件对比本系统与 EVA 的电梯驱动主机振动测试结果。加速度传感器分别安装在电机和减速器壳体的 x 轴方向、y 轴方向、z 轴方向。对比两者的加速度数据发现, 本系统输出与 EVA 输出的加速度波形大体一致, 只是存在 0.28s 的相位差, EVA 测得加速度与本系统最大差值为 0.296m/s^2 , 表明本系统检测的振动加速度数据与 EVA 测得的振动加速度数据波形高度相关, 驱动电机振动指标非常接近, 可以准确反映电梯振动状态。

参考文献:

- [1] 周跃峰. 电梯驱动主机制动器的检验 [J]. 特种设备安全技术, 2020, No.234(03):23-24.
- [2] 郭天水. 高速曳引式电梯振动与噪声分析 [D]. 贵州大学, 2019.
- [3] 刁立军. 曳引式乘客电梯安全评估比对的分析与思考 [J]. 中国特种设备安全, 2019, (5):33-35.

(上接第 17 页)

够更快上手。

2.5 信息可视化原则

图像化和拟物化的信息最能引起驾驶员的注意。因此, 在后续的驾驶舱设计中应该采用更为简单易懂的图标, 减少过于复杂的术语和信息图形。

2.6 个性化原则

未来重卡 HMI 还应该给驾驶员留足个性化空间, 让其能够根据自身的需求和行为习惯去更改驾驶舱的图标颜色, 显示等, 提供差异化设计。

3 重卡 HMI 操作系统发展趋势

重卡 HMI 作为一个数字化的产品, 需要通过软硬件相结合的方式对原有的设计效果进行呈现。友好的人机交互界面是贯穿整个重卡 HMI 设计生命周期的宗旨, 而操作系统作为这一宗旨点核心内容, 其重要性不言而喻。

目前, 各大生产商对于重卡 HMI 的操作系统都有不同的侧重点。具体还需要根据具体的应用场景分析。目前最主要的操作系统还是应用在仪表和中控大屏上, 其中仪表的

安全要求等级最高。因此, 未来重卡操作系统还是需要围绕仪表的安全性展开。目前仪表使用的主流操作系统软件内核为 Linux、QNX, 再将 KANZI-Studio、CGI-Studio、Qt design-Studio 等集成式的软件嵌入式的方法集成到 HMI 系统, 实现图形化界面分化。未来 HMI 操作系统将延续操作软件传统, 在此基础上将更多的注意力投入到效果呈现中。与此同时, 随着汽车智能化发展, HMI 在考虑操作系统等软件纬度的同时还得兼顾设计、平台、硬件三个方面来实现人机交互的最优解。

4 结语

重卡 HMI 设计随着智能化时代到来而不断发展, 后续的研究将更加重视 HMI 设计的原则把控和操作系统多维度分析, 进而促进重卡 HMI 系统更好地为驾驶员服务。

参考文献:

- [1] 刘炜, 郑庆华, 曾杨. 基于 Minigui 的工程机械 HMI 界面设计 [J]. 建设机械技术与管理, 2008, 021(003):81-83.