

# 基于 MEMS 三轴加速度传感器的电/扶梯乘运质量综合测量仪

陈建勋, 戚政武, 苏宇航, 杨宁祥, 王璐

(广东省特种设备检测研究院 珠海检测院, 广东 珠海 519002)

**摘要:** 电梯、自动扶梯与人们生产生活密切相关, 其安全性和舒适性得到越来越多的社会关注。为实现电梯/自动扶梯振动舒适度、运动参数、制动性能参数、异常机械振动故障的在线综合检测, 采用 20 位高精度 MEMS 三轴加速度传感器配合 STM32F4 序列高性能单片机和高速 Wifi 通讯模块获取直梯或自动扶梯运行过程中加速度数据, 采用开发的智能终端应用程序 (APP) 自动进行数字滤波、频率加权、数值积分、快速傅里叶变换、数理统计等过程, 得到电梯/自动扶梯各项综合性能参数。该仪器可满足运行安全性和乘梯舒适性的现场快速“体检”需求。

**关键词:** 加速度传感器; 电梯; 自动扶梯; 乘运质量

## MEMS Triaxial Accelerometer Based Instrument for Measuring the Riding Quality of Elevator or Escalator

Chen Jianxun, Qi Zhengwu, Su Yuhang, Yang Ningxiang, Wang Lu

(Zhuhai Branch, Guangdong Institute of Special Equipment Inspection and Research, Zhuhai 519002)

**Abstract:** Elevators and escalators are closely related to people's production and life, and their safety and comfort have attracted more and more social attention. To realize the online comprehensive detection of elevator/escalator vibration comfort, motion parameters, braking performance parameters and abnormal mechanical vibration faults, a 20-bit high-precision MEMS three-axis acceleration sensor was used in conjunction with STM32F4 serial high-performance single-chip microcomputer and high-speed Wifi communication module to obtain acceleration data during the operation. Adopting the developed intelligent terminal application (APP), the digital filtering, frequency weighting, numerical integration, fast Fourier transform, mathematical statistics and other processes were automatically performed, and various comprehensive performance parameters of the elevator or escalator were obtained. The instrument can meet the needs of rapid on-site "physical examination" for operational safety and elevator comfort.

**Keywords:** Acceleration sensor; Elevator; Escalator; Ride quality

## 1 传感器设计背景和应用价值

### 1.1 设计背景

乘运质量测量仪是评估垂直电梯、自动扶梯或自动人行道设备综合运行状况的重要仪器。传统的电梯乘运质量测量仪器多采用模拟量型加速度传感器，存在体积较大、集成度不高等特点，较难使仪器自身体积小型化，限制了该类仪器的测试功能。微机电系统（MEMS）三轴加速度传感器是 MEMS 传感技术发展较为成熟的领域，该传感器在惯性导航、自然灾害监测、人体姿态识别、交通工具测速等领域已经得到大量应用。本文研究了基于 MEMS 三轴加速度传感器的电/扶梯乘运质量综合测量仪，该仪器充分利用了 MEMS 加速度传感器体积小、集成度高、兼容振动分析、运动参数分析的技术特点，实现了电梯或自动扶梯涉及安全和舒适性方面多个功能参数的现场快速测量。

### 1.2 应用价值

电梯是与人们生产生活密切相关的垂直交通工具，同时也是一类机电类特种设备。目前，我国是世界上最大的电梯生产国，我国在用电梯数已超过 900 万台，在过去十年我国电梯保有量更是以接近 10% 的速度高速增长。随着老旧电梯逐年增多，其安全性和舒适性也得到越来越多的关注。电/扶梯乘运质量综合测量仪可应用于电梯、自动扶梯或自动人行道安装、维保、检测、研发、事故调查、故障诊断等多个场合，仪器经销售已经取得了良好的经济效益和社会效益，确保了人民群众生命财产安全，对维护社会和谐稳定发挥了积极作用。

## 2 创新点与优势

### 2.1 仪器结构的创新设计

仪器利用 MEMS 加速度传感器体积小、集成度高的特点可极大减小三轴加速度硬件模块体积，通过模块底部设置自由组合的三个呈三角形分布的活动支脚和磁吸座可实现单一模块对垂直电梯轿厢、自动扶梯或自动人行道梯级、自动扶梯或自动人行道两侧扶手带、电梯驱动主机等多个电梯功能部件的兼容性测试。

### 2.2 测试数据的多算法综合分析

手持式智能终端上 APP 综合采用振动加速度频率计权、二阶 Butterworth 数字滤波、1/3 Simpson 数值积分、曲线线性拟合、快速傅里叶变换、数理统计等数据分析算法，可快速分析出垂直电梯/自动扶梯三轴或矢量和振动舒适性评估参数（最大振动峰峰值、A95 振动峰

峰值)和运行参数(运行速度、起动加速度、停梯减速度、轿厢提升高度、紧急制停时的制动时间、制动距离、瞬时或平均制动减速度、主要振动频率构成等),充分挖掘了MEMS三轴加速度读传感器在电梯测试场合的应用效能。

### 2.3 高速数据的无线准确传输

为避免现场获取的加速度数据帧丢失对测试结果准确性的影响,采用独特的“校验补帧”算法确保数据传输准确、完整、实时、高速,该机制可实现20米内数据完整性不低于99.95%,尤其适用于大型火车站、地铁站等拥有超大提升高度自动扶梯现场复杂测试环境,最快可实现4000 Hz三轴同步采样。

## 3 实现方案简介

### 3.1 设计原理

电/扶梯乘运质量综合测量仪硬件架构如图1所示,加速度模块由供电单元、控制单元、组成,控制单元包括单片机、MEMS加速度传感器、无线通讯模块、指示灯、按键模块、Flash存储模块。采用STM32F407单片机获取ADXL系列MEMS加速度传感器数据并存储于外置Flash单元,同时通过高速Wifi模块将数据发送到手持式智能终端,传输速率最高可稳定达到3000组/数据轴/秒。通过3.7V锂离子电池为系统供电,电路管理模块包括充放电电路。

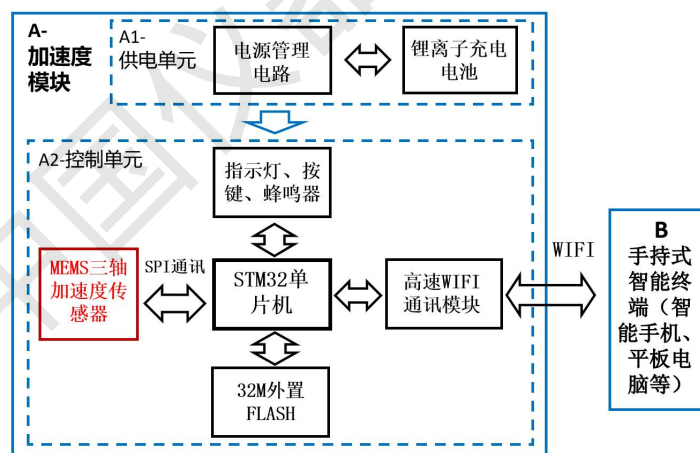


图1 电/扶梯乘运质量综合测量仪硬件架构图

APP功能架构如图2所示,数据采集共享单元将获取的数据以文本或曲线方式显示,并可存储、云端远程共享;针对不同的电梯或自动扶梯测量模式可调用不同数据分析单元进行数据分析与诊断;查询与校验单元可导出电梯/自动扶梯乘运质量、制动性能或快速傅里叶变换频谱分析测试报告,并可在线验证报告真伪;硬件监测单元可进行模块自诊断,确保测试过程数据准确;自校准单元配合第三方计量机构振动校验台可实现模块三轴加速度自

校准，该过程一般每 1 年完成一次。

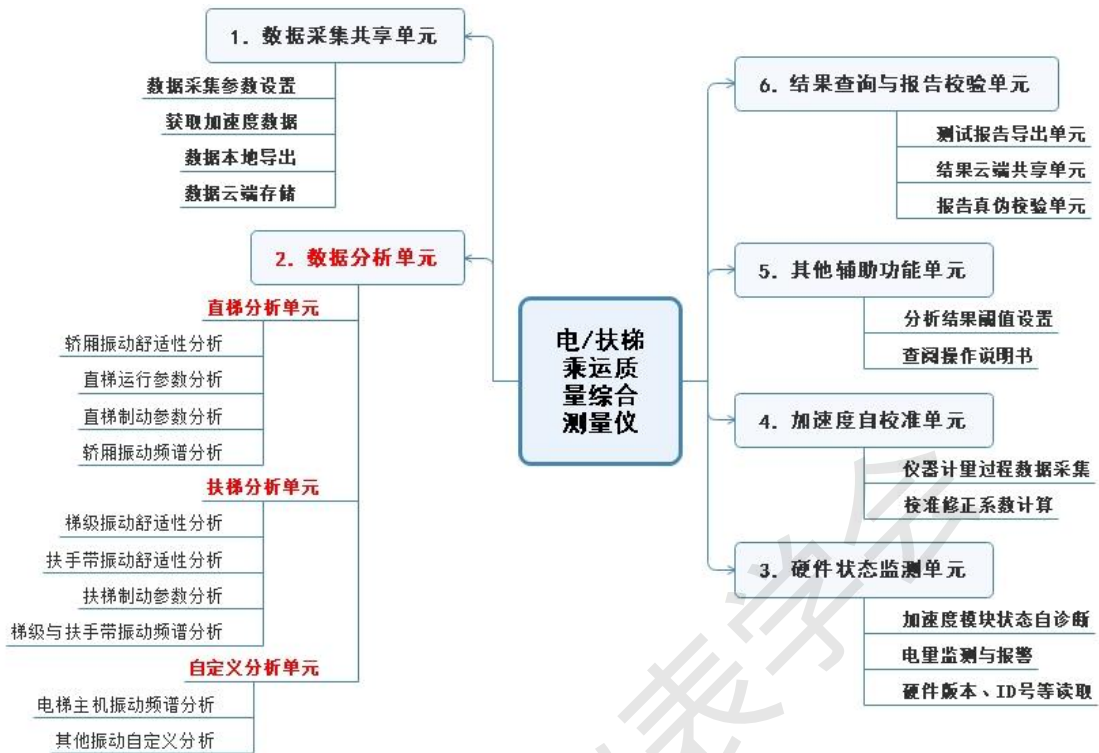


图 2 APP 功能架构图

### 3.2 设计方法

电/扶梯乘运质量综合测量仪如图 3 所示，包括三轴加速度测量模块和手持式工业平板电脑。将电路板、电池、磁铁、天线封装于铝合金外壳中，组装成加速度测量模块。模块底部有三个倒三角形支腿，呈三角形分布，包括两个活动支腿和一个固定支腿，可提高模块对垂直电梯轿厢地板、自动扶梯梯级面、自动人行道踏板面的压强。模块底面开设两段滑槽，两个活动支腿可在滑槽内滑动，以调节两者间相对距离，从而匹配不同踏面凹槽间距的踏板，同时支腿被滑槽中磁铁稳定吸附<sup>[1]</sup>。



图 3 电/扶梯乘运质量综合测量仪

仪器针对垂直电梯和自动扶梯乘运质量测量的算法符合《乘运质量测量 第 1 部分 电梯》(GB/T 24474.1—2020) 及《乘运质量测量 第 2 部分 自动扶梯和自动人行道》(GB/T 24474.2—2020) 的规定<sup>[2,3]</sup>。

### 3.3 实验验证过程

4 种典型测量模式下仪器使用状况如图 3 所示。将模块放于轿厢地板中央，操作电梯上行或下行可测量直梯振动舒适性或直梯制动性能；将模块放于扶梯梯级上，随梯运行可对梯级振动舒适性进行测量；手握模块置于扶手带上随梯运行可对扶梯扶手带传动舒适性进行测量；将仪器置于轿厢内，操作人员离开，并实施紧急制停，可测量制动参数；模块吸附于主机等部件表面，通过频谱分析可对异常振动源进行识别，用于机械故障诊断。



图 4 垂直电梯/自动扶梯不同测试模式下仪器使用照片

#### 参考文献:

- [1] 王璐,陈志浩,陈建勋,等.基于 MEMS 加速度传感器的自动人行道制动参数检测[J].西部特种设备,2022,5(03):33-39.
- [2] 国家市场监督管理总局, 国家标注化管理委员会.乘运质量测量 第 1 部分 电梯: GB/T 24474.1—2020[S].北京:中国标准出版社,2020.
- [3] 国家市场监督管理总局, 国家标注化管理委员会.乘运质量测量 第 2 部分自动扶梯和自动人行道: GB/T 24474.2—2020[S].北京:中国标准出版社,2020.