

电梯制动器性能检测与故障诊断技术研究

唐俊杰¹ 肖咏佳¹ 陈明用²

1 湖南省特种设备检验检测研究院永州分院，湖南永州，425000；

2 晨宇安全科技集团有限公司，湖南长沙，410205；

摘要：伴随电梯在平常日子里的普遍应用，其运行安全至关重要。制动器作为关乎电梯安全运行的核心部件，对其性能检测及故障诊断技术的研究刻不容缓。本文聚焦于电梯制动器性能检测与故障诊断技术，深入探究电梯运行时机械部件磨损腐蚀、电磁环境干扰对制动器的影响。通过搭建模拟检验平台进行样本勘查，构建制动力矩测评算法，同时构建包含基准设定、数据采集、模型搭建与故障报警处理的机械及电气故障诊断体系，全力守护电梯运行安全。

关键词：电梯制动器；性能检测；故障诊断；制动力矩；传感器

DOI：10.69979/3029-2727.25.07.029

引言

在当今社会，电梯作为建筑内极为关键且不可或缺的垂直运输工具，其运行安全性与人们生命财产安全紧密关联。鉴于电梯运行环境极为复杂，机械部件磨损、遭受侵蚀以及电磁环境干扰等状况，都会对电梯制动器性能产生负面影响，为电梯安全埋下隐患。为此，本文着重深入探究电梯运行环境对制动器的影响，搭建实验平台开展性能检测并构建故障诊断体系，以提升电梯制动器安全与可靠水平。

1 电梯运行环境对制动器的影响

1.1 机械部件磨损与腐蚀的影响

电梯在频繁起停作业时，制动闸瓦与制动轮始终保持摩擦状态，每次制动操作都会让闸瓦承受较大摩擦牵扯力，随着时间推移，闸瓦表面磨损加剧，致使其与制动轮贴合紧密程度降低、接触面积变小，进而造成制动力减弱；同时，频繁起停致使弹簧等弹性部件频繁伸缩，产生疲劳损耗，弹性系数减退，削弱了对制动闸瓦压力的调节能力，最终导致制动性能下降。而在电梯运转进程中，所承载重量不断变化，一旦负荷过大，制动闸瓦需承受更大压力来达成制动功能，这将加速闸瓦磨损，且过大承载量极有可能使弹簧超出弹性极限，引发塑性形变甚至断裂，让制动系统失去弹性调节能力，严重破坏制动性能，造成制动距离延长，极大地降低了电梯运行的安全性。

1.2 电磁环境干扰的影响

电磁制动器借由电磁吸力完成制动与松闸动作，可电梯所处电磁环境复杂，存在众多潜在干扰源。电梯运行时，其他电气设备的电磁辐射及电梯控制系统内的高频信号等，都极易干扰电磁制动器的电磁吸力。受干扰后，电磁吸力易波动，无法稳定于正常工作水平，致使制动反应滞后。紧急制动时无法及时产生充足制动力，甚至电磁吸力或瞬间消失致制动失效，严重威胁电梯内人民生命安全。

2 性能检测技术

2.1 实验设计

(1) 实验平台搭建

搭建高度模拟电梯实际运行工况的实验平台，该平台是精准评估电梯制动器性能的关键基础设施，由机械系统、电气控制系统、数据采集系统等构成。

通过变频调速电机与精密传动装置配合，实现不同速度模拟。速度范围涵盖低速货梯的 0.25m/s 至高速客梯的 6m/s 以上，设置 0.5m/s、1m/s、2m/s、4m/s、6m/s 这 5 个基本速度梯度，还可根据特殊需求灵活调整。利用速度传感器实时监测并反馈速度数据，确保模拟速度的准确性，为不同应用场景下的制动器性能测试提供可靠速度条件^[1]。负载模拟装置，采用可调节配重块与加载油缸相结合的方式模拟不同负载。从空载到 150% 额定负载变化，每隔 20% 额定负载设置测试点，如空载、20% 额定负载、40% 额定负载等。通过压力传感器精确测量加载油缸压力，换算实际负载，利用位移

传感器监测配重块位置变化，保证负载模拟的精度和稳定性。启停频率控制模块，依据不同类型电梯实际使用情况设定启停频率。居民楼电梯每 5 – 10 分钟启停一次，商业写字楼电梯每 2 – 5 分钟启停一次，商场电梯每 1 – 3 分钟启停一次等。借助可编程逻辑控制器（PLC）编写控制程序，精准控制电机的启动和停止时间间隔，模拟真实的电梯启停频率。

（2）测试样本选择

广泛收集多种型号规格的电梯制动器作为测试样本，涵盖不同品牌、技术类型（电磁制动器、液压制动器等）以及应用场景（住宅电梯、商业电梯、工业电梯）的产品。至少选取 5 种不同型号的制动器，每种型号准备 3 – 5 个样本，以此降低个体差异对实验结果的影响，使测试结果更具广泛代表性。

（3）关键性能参数监测

采用高精度传感器实时判定关键性能数值，让数据精准又可靠。

制动力矩传感器：从应变片式制动力矩传感器与磁电式制动力矩传感器中选择一个，装到制动轮跟驱动轴中间，该传感器测量精度能实现 $\pm 1\%$ FS（满量程），能恰当地测量制动时产生的力矩大小，凭借放大器与数据采集卡将传感器信号传递进计算机里，实时载入制动力矩数据。制动反馈时段长度探测传感器，采用光电传感器或者微动开关核查制动响应时间，从发出制动指令的瞬间起马上启动计时，到制动器产生起到作用的制动

力时停止计时，分辨率恰恰为 0.01 秒，凭借时间计数器和数据采集系统记录每次制动响应时间方面的数据。

（4）实验测试方案

令各个制动器样本持续运行 1000 次以上完整制动周期，每过 100 次就去记录制动力矩、制动响应时间、闸瓦磨损量等关键性能参数，就把制动力矩作为例子，绘制用以体现制动力矩随制动次数变动的曲线，明白展示制动力矩在长时间使用阶段的稳定性变化趋势倾向^[2]。开展在 120%、130%、150% 额定负载规模情境下的制动测试，就每个负载情形开展 10 回测试，记录每次测试的时候所采集的制动力矩、制动响应时间和闸瓦磨损量等参数，生成一张不同负载下制动力矩对比柱状图，查看制动器在超载情况下的性能改变情形，高速瞬息急停测试，使电梯运行速度拉高到额定速度的 110% – 120%，马上实施急速制动，开展 5 次测试去核实，记录与高速急停测试相关的制动距离、制动力矩变化曲线等各类数据，评估制动器在高速急停工况下的制动效果与性能水平。

（5）数据统计分析

运用统计学方法对实验数据进行深入分析，计算平均值、标准差、变异系数等统计量。通过重复试验 3 – 5 次，验证实验结果的可重复性。采用方差分析（ANOVA）等方法判断不同型号制动器性能参数的差异显著性，为制动器性能评估提供科学依据。表 1

实验次数	制动力矩(N·m) - A 型	制动力矩(N·m) - B 型	制动力矩(N·m) - C 型	制动响应时间(s) - A 型	制动响应时间(s) - B 型	制动响应时间(s) - C 型	闸瓦磨损量(mm) - A 型	闸瓦磨损量(mm) - B 型	闸瓦磨损量(mm) - C 型
1	1200	1350	1100	0.25	0.22	0.28	0.02	0.015	0.025
2	1220	1330	1080	0.24	0.23	0.27	0.022	0.018	0.023
3	1180	1380	1120	0.26	0.21	0.29	0.018	0.016	0.027
4	1210	1360	1110	0.25	0.22	0.28	0.021	0.017	0.024
5	1190	1340	1090	0.25	0.23	0.28	0.02	0.016	0.026
平均值	1200	1352	1100	0.25	0.222	0.28	0.02	0.0168	0.025
标准差	14.14	20.49	14.14	0.0089	0.0084	0.0084	0.0016	0.0012	0.0016
变异系数	0.0118	0.0152	0.0129	0.0356	0.0378	0.03	0.08	0.0714	0.064

2.2 传感器性能评估

针对电梯运行环境的复杂性，选用压力传感器、位移传感器、速度传感器等多种类型传感器。压力传感器用于测量制动过程中制动部件间的压力，位移传感器监

测制动闸瓦的位移变化，速度传感器获取电梯运行速度信息，这些传感器共同为制动器性能检测提供数据支持。在电梯运行环境下，评估传感器的准确性至关重要。将传感器测量值与高精度标准测量设备获取的标准值进

行对比，计算误差范围。通过在不同速度、负载、振动和冲击条件下进行测试，全面评估传感器在复杂工况下的测量精度。例如，在电梯加速、减速和匀速运行阶段分别测量速度，对比传感器测量值与实际速度，确定速度传感器在不同运行状态下的准确性。

电梯运行过程中存在多种电磁干扰和机械振动，传感器的抗干扰能力直接影响数据可靠性^[3]。在实验平台上，人为引入电磁干扰源（如模拟电梯电气设备产生的电磁辐射）和机械振动（通过振动台模拟电梯运行中的振动情况），观察传感器测量数据的波动情况。若数据波动在允许范围内，表明传感器具有良好的抗干扰能力；反之，则需对传感器进行优化或采取屏蔽、滤波等措施。

2.3 制动力矩检测算法

制动力矩是衡量电梯制动器性能的核心指标，其测量准确性受多种因素影响。像制动闸瓦与制动轮磨损、表面温度变化、油污污染等会改变关键的摩擦系数，制动部件长期承受较大压力和摩擦力产生的变形，如制动轮椭圆度增加改变制动力分布，也会影响制动力矩测量。本文算法通过测量制动时压力、位移等物理量，结合制动器结构参数与力学模型计算制动力矩，即借助压力传感器测闸瓦对制动轮正压力，用位移传感器获取闸瓦位移变化，依相关关系及结构尺寸经数学公式算出制动力矩。

算法原理基于经典的摩擦力学理论，制动力矩等于制动力与制动轮半径的乘积，而制动力又与摩擦系数和正压力相关。在实际应用中，由于不同电梯制动器的结构参数（如制动轮半径、闸瓦形状和尺寸等）和工作条件（如使用环境、运行频率等）存在差异，需要根据实际情况对算法中的参数进行调整。

3 故障诊断技术

3.1 机械故障诊断

(1) 建立性能基准

对电梯制动器机械部件在正常状态下的性能进行全面的检查与鉴定，获取能体现关键性能的指标作为起始数据，精确判定闸瓦在正常使用起始阶段的磨损率，记录不同制动次数的阶段局面下闸瓦的磨损量，把握磨损规律，生成出显示闸瓦磨损率随制动次数变化的基准曲线，采用专业的检定设备测定其弹性系数，记录不同阶段压缩量阶段里的弹力数据，找出弹簧弹性系数的恰

当范围，这些基准数据将作为后续判断机械部件是否有差错的关键参照。

(2) 在线监测数据采集

在电梯运转的阶段，借助多个传感器实时采集制动器机械部件的实际运行数据，在闸瓦处添装磨损传感器，实时追踪闸瓦的磨损量变化；在弹簧周边安装压力传感器，弄清楚弹簧所受压力的水平；在与制动轮相应的部位安装转速传感器，采集制动轮的转速数据等，凭借着专门的数据采集系统，对这些传感器的数据开展整理跟传递，实现对制动器实时运行状态的在线督察。

(3) 建立机械故障特征库

对搜集来的大量正常运行状态的相关数据和已出现机械故障时的相关数据进行深度分析，采用基于信号处理和模式识别的算法深度剖析，精准萃取出标志性故障特征。时域分析中，密切留意闸瓦磨损量、弹簧压力、制动轮转速等参数随时间的变化轨迹，如闸瓦磨损量突变、弹簧压力异常起伏。频域分析时，对这些参数进行傅里叶变换，研究故障状态下特有的频率特征，之后整理归纳这些特征，搭建机械故障特征库，为后续故障诊断快速提供数据支撑。

(4) 构建机械故障预测模型

运用机器学习技术，利用历史故障数据及正常运行数据去执行针对模型的训练，选好恰当的机器学习算法，好似支持向量机（SVM）、决策树、神经网络一样，依据制动器机械故障的特性跟数据特征对模型进行合理搭建，借助不断调试模型参数，增进模型实力，使模型能够及时鉴别不同的机械故障模式，凭借训练让模型搞明白闸瓦过度磨损、弹簧弹性失效等故障模式下数据的特征，从而具备预估这些故障出现的能力层级。

3.2 电气故障诊断

(1) 性能数据测试与记录

在一般工作环境下，以电梯制动器电气控制那部分为对象，诸如电磁铁、控制电路等实施全面的性能测试，采用特制的电气检测设备，周密测定电磁铁的电流、电压、功率等参数，把其在不一样工作状态下的相关值记录清楚；按照控制电路的情形，审视各个节点的电压、信号传输是否稳定可靠，如实记录这些性能数据，开辟出电气控制部分的性能基准档案，给后续故障检测提供可当作借鉴的相关内容。

(2) 模拟运行环境监测

搭建起一个模拟电梯运行环境的测试平台，在这个平台处针对制动器电气控制部分实施在线监测，模拟电梯运行阶段中的各类工况情形，诸如频繁启停、不同负载状态下的运行等，采集跟电气有关的参数数据，在实施监测的这个阶段，记录电磁铁电流的变动趋势、控制电路电压的起伏趋向等数据，实时呈现电气控制部分在模拟运行环境中的实际运转情形。

(3) 建立电气故障特征库

采用电气信号分析算法对采集到的电气数据进行深入分析。运用谐波分析方法，检测电流、电压中的谐波成分，因为电气故障往往会导致谐波含量增加；通过故障电流特征分析，识别在故障状态下电流的特殊变化特征，如电流幅值的突变、相位的异常等。将这些分析得到的故障特征进行归纳总结，建立电气故障特征库，为电气故障诊断提供有力的依据。

(4) 构建电气故障预测模型

采用依托人工智能的办法，诸如深度学习体系当中存在的卷积神经网络（CNN）、循环神经网络（RNN）这般，构建起一套电气故障预警模型，以大量的历史电气故障数据与正常运行数据对模型实施训练，让模型体悟到不同电气故障模式下电气参数的变化规律，以优化模型结构与训练参数为凭借，增强模型预测的准确性与可靠性。

4 结语

电梯制动器的性能与安全意义重大极为关键，本研

究全面梳理了电梯运行环境对制动器的影响，构建一套全面的性能检测体系，涉及实验平台搭建、传感器评估及算法设计等相关环节组成，研发出了机械和电气故障诊断体系，实现对故障的高效预判与警示，预想这些研究成果能为电梯制动器性能提升和安全运行提供坚实后盾，助力电梯行业走上安全发展的路径，为民众的出行提供更具意义的支撑。

参考文献

- [1] 李海燕,李灌辉,肖翊天,等.电梯鼓式制动器性能检测和故障判定方法[J].中国电梯,2024,35(07):68-70.
- [2] 郭青源,王璇,李菊峰,等.基于数字孪生的电梯制动性能预测及评价[J].中国特种设备安全,2024,40(01):58-63.
- [3] 李福庆.试析电梯检验中对制动器的检验方法[J].模具制造,2024,24(11):240-242.

作者简介：唐俊杰，男（1993.07-），汉族，湖南永州，助理工程师，本科学历，主要研究特种设备安全工程。

肖咏佳，男（1994.03-）汉族，广东梅州，助理工程师，本科学历，主要研究特种设备安全工程。

陈明用，男（1991.07-）瑶族，湖南永州，助理工程师，本科学历，主要研究特种设备安全工程。