

潘杰-限速器导致电梯轿厢共振的传递路径探析

潘杰

波士顿电梯（湖州）有限公司 浙江湖州 313000

【摘要】开展振动路径传递的研究有助于解决电梯轿厢的异常振动，保障乘客使用的舒适和安全。通过详细计算电梯系统各个部件的运行情况，对振动传递路径和频率响应进行研究，同时分析可能导致电梯轿厢运行异常振动的其他原因，根据实际案例准确发现电梯轿厢运行异常振动的问题，提高电梯运行质量，保证乘客使用的安全。

【关键词】限速器；电梯轿厢；传递路径

Analysis of the transmission path of elevator car resonance caused by

Pan Jie

Boston Elevator (Huzhou) Co., LTD. Zhejiang Huzhou 313000

【Abstract】Conducting research on vibration path transmission helps address abnormal vibrations in elevator cabins, ensuring the comfort and safety of passengers. By meticulously calculating the operational conditions of each component in the elevator system, this study investigates the vibration transmission paths and frequency responses. It also analyzes other potential causes of abnormal vibrations in elevator cabins. Based on actual cases, it accurately identifies issues related to abnormal vibrations in elevator cabins, improving the quality of elevator operations and ensuring passenger safety.

【Key words】governor; elevator car; transmission path

近年来随着社会的进步，高层建筑越来越多，高度也不断提升，作为垂直运输的重要工具，电梯在人们生活中发挥了重要作用，电梯的运行质量和稳定性不仅关系到人们的体验感，更是影响到使用者的生命财产安全。而电梯轿厢的异常振动在电梯运行中不可忽视，不仅会影响乘客的体验感，也暗示了电梯可能存在潜在风险，所以加强振动传递路径的研究至关重要。

一、电梯系统的主要构成及工作原理

电梯系统的主要构成包括曳引系统、轿厢与对重系统、导向系统、门系统、安全保护系统以及控制系统。其中曳引系统由曳引机和曳引钢丝绳组成，是电梯运行的关键部分，主要通过曳引轮与钢丝绳之间的摩擦力来实现动力传递，确保电梯平稳运行，满足正常装载运行、停滞状态以及紧急制动情况等多种工况的要求。轿厢与对重系统作为电梯的主体结构，分别实现了为乘客或货物提供承载空间、节能平衡的作用，轿厢的设计应当符合安全规范和舒适要求，对重系统的重量通常设置为轿厢自重加上额定载重的一半，能够显著

降低了电机负载，明显提高能效比。导向系统通过安装于井道内的导轨和配套的导靴装置，为轿厢和对重提供精确的运行轨迹，有效限制水平方向的摆动，保证运行平稳，确保电梯运行的精确性和稳定性。门系统的功能包括实现轿门与层门的同步开关、确保平层精度、在紧急情况下提供安全保护，是电梯使用过程中最频繁接触的部分。现代电梯门系统普遍采用先进的感应和控制技术，以提高运行效率和安全性。安全保护系统包含多重保护措施，在轿厢下行超速时，限速器-安全钳联动装置会自动触发，上行超速则由主机制动器控制，终端限位装置会在电梯接近顶层或底层时强制减速停止，是电梯安全保障的最后防线，此外，井道底部设置的缓冲器可以在控制系统失效时提供被动保护。

二、电梯轿厢运行异常振动的因素和原因分析

（一）电梯轿厢运行异常振动的因素分析计算

造成电梯轿厢运行异常振动的因素较为复杂，包括曳引系统故障、钢丝绳系统问题、导轨系统缺陷、轿厢结构问题、其他机械部件异常等，对原因进行分析计算如下：

第一,曳引机运行异常是导致轿厢振动的重要因素,具体包括动平衡不佳、轴承损坏、曳引轮绳槽磨损以及制动盘表面不平整等问题,都可能导致轿厢的异常振动。主机转动频率计算公式如下:

$$f_1 = n \times 1000 \times V / (\pi \times d_1) \quad (1)$$

其中, f_1 为主机转动频率; n 为曳引比; V 为电梯垂直运行速度; d_1 为曳引轮的公称直径。

第二,钢丝绳系统中曳引钢丝绳的状态异常同样可能引发振动问题,钢丝绳捻距频率计算公式如下:

$$f_2 = n \times 1000 \times V / h \quad (2)$$

其中 f_2 为钢丝绳捻距频率, n 为曳引比; V 为电梯垂直运行速度; h 为钢丝绳捻距。

第三,导轨在接头处出现的 X/Y 方向凸起可能会使轿厢运行至该位置时产生水平振动。当导轨出现弯曲变形时,乘坐舒适度会明显下降,表现为明显的晃动感。

第四,轿厢部件的安装松动或结构不牢固会产生异响共振现象。此外,旋转部件如反绳轮、滚轮导靴和限速器轮等也是潜在的振动源。

第五,涨紧轮、补偿链等辅助部件的故障也是引发异常振动的原因,同时,各种机械运转频率也会造成一定影响,包括曳引机磁场旋转频率、定子槽运行频率、轴承滚动体及内外圈运行频率等。

(二) 电梯轿厢运行异常振动的其他原因

1、电梯回路、控制系统引发的异常振动

电梯运行过程中产生的振动现象主要是受到拖动系统的控制精度与运行稳定性的影响。通常对控制精度要求越高,系统出现振动的可能性也增大。所以需要根据实际性能指标和使用需求对电梯控制系统的精度参数进行合理配置。在电气控制系统运行过程中,如果三相电源电压的不平衡系数超过 7% 就会干扰调速器的给定信号,导致电机无法正常工作。针对这一情况,通常可以采用调速器对 PID 控制器的滤波参数进行调整。如果控制器的比例放大系数 P 设置过大,积分系数过小,或者控制器滤波时间参数设置不当,都会影响系统稳定性。此外,负反馈控制系统中速度给定信号如果存在干扰或不稳定因素,同样会导致系统振动。在电梯速度控制系统中,光电编码器用于采集速度和位置信号。当编码器反馈至控制器的信号与实际运行状态存在偏差时,必然会引发系统振动。

2.编码器工作异常引起的异常振动

编码器作为电动机核心部件之一,安装不当会导致脉冲信号反馈异常,进而引发电梯运行振动问题。编码器作为精密光电设备,对工作环境有严格要求,尤其是内部光栅的清洁度直接影响信号传输准确性。在实际运行中,编码器故障主要表现为以下特征:系统振动加剧、位置定位偏差增大。检验数据表明,在交流变频调速调压电梯系统中,编码器相关故障主要源于三个方面:一是旋转编码器与曳引轮安装固定不牢;二是同轴度偏差超出允许范围;三是信号传输线路未采取标准屏蔽措施或接地处理不规范。这些因素都会导致编码器输出的数字脉冲信号失真,进而影响控制主板的信号判断,最终造成变频器驱动异常和电梯运行不稳。

3.测速反馈设施干扰引起的异常振动

测速反馈装置工作异常的主要原因包括以下几个方面:首先,当测速装置采用侧向安装方式时,不均匀的传动轴面会导致径向脉动的产生;其次,轴向对接安装过程中出现的同轴度偏差也会影响装置性能;此外,反馈装置未使用屏蔽电缆进行信号传输也是常见问题。这些因素共同作用导致测速机无法准确反馈曳引机的转速参数,使传输至控制板的信号受到干扰,进而影响控制处理器对信号的分析判断,最终引发电梯运行时的振动现象。针对上述问题,建议采取以下改进措施:应对测速机与电动机轴的同心率进行精确调整;在侧向连接时需确保油面受力均匀;所有连接线缆必须选用优质屏蔽线并确保接地良好。通过这些措施可有效避免轴向振动、径向振动及电磁干扰导致的测速信号失真,从而保证电梯运行特性的稳定性。

三、实际案例振动传递路径分析

本文以一台额定载重 800kg、运行速度 1.75m/s、曳引比为 2 的钢带驱动电梯为研究对象,现场反馈显示该电梯轿厢存在异常振动现象,主要表现为乘客感受到明显的脚麻不适。通过加速度传感器实测数据分析,发现轿厢在 89Hz 频率处振动幅值最大。经计算验证,当限速器轮直径为 200mm、带有 8 个棘轮时,其运转基频为 2.785Hz,棘爪通过频率为 22.3Hz (即 $2.785\text{Hz} \times 8$)。此外,89Hz 恰好对应棘爪 4 倍频和限速器轮 32 倍频的叠加效应,表明应当重点检查限速器部件是否存在异常。

现场检查发现限速器存在两个主要问题:首先是棘轮表面附着有橡胶老化残留物,这些残留物可能是由于机构轮橡胶圈在长期滚动接触中产生的疲劳剥离;其次是限速器轮槽内存在明显的铁锈沉积。在针对这两个问题进行彻底清理之后复测结果显示轿厢振动状况并未得到显著改善,表明振动问题可能源于机械系统的共振现象。

为深入分析振动传递路径,本文建立了从限速器到轿厢的完整传递链模型。具体传递路径为:限速器→安全钳连杆→安全钳连板→轿厢下梁→轿厢底板。在80–100Hz频段内对7个关键测点(A–G)进行频谱分析发现,因摩擦和弹性变形,应振动能量在钢丝绳环节(C、D点)大幅衰减(振幅分别降至12mg和6mg),而F点振动水平维持在正常范围(约3mg)。然而E点和G点振动幅值异常放大(分别达到22mg和23mg),暗示了轿厢下梁X方向在89Hz附近可能存在结构共振。

为了验证上述猜想,本研究采用锤击法对轿厢下梁X方向进行模态测试。在下梁薄板上均匀布置3个测点,选择橡胶锤头进行4次重复敲击,以确保测量精度。测试数据显示,所有测点在89Hz附近均呈现明显的相位跃变特征,并且相干函数值均高于0.8的可信度阈值。这一结果证实了轿厢下梁在89Hz频率点存在结构共振现象,为后续振动治理提供了证据支持。

四、电梯轿厢共振的解决措施

(一) 解决电梯轿厢故障

针对轿厢故障引发的共振现象,需要从设计、安装及维护三个维度进行系统性优化。在设计层面可以采用动态平衡原理,通过在轿厢底部配置可调节配重块来实现受力均衡与重心稳定。同时还应精确计算轿厢与曳引轮的动力学参数,确保两者形成稳定的传动系统。安装环节应重点关注两个技

术要点,第一是要确保导靴衬套与导轨间距控制在 $\pm 0.5\text{mm}$ 公差范围内;第二要保证导靴架中心面与导轨中心面的同轴度偏差不超过1mm;除此之外还要严格执行我国相关电梯安装标准,选用符合国家要求的安装材料。维护过程中应当建立完善的检修制度,首先,在轿厢维修前后应采用激光定位系统确保安装位置一致性,其次要定期使用数字水平仪检测轿厢底部的水平度误差,必须控制在3mm/m以内。最后可以运用全站仪测量轿厢垂直度偏差,应小于1/1000。除此之外,针对组立不合格导致的振动问题,首先应解除导滑器约束,使轿厢处于自由状态;然后使用三维激光扫描仪检测框架扭曲度,修正公差至3mm;最后通过液压调平系统实现静态平衡,确保导靴受力均匀。

(二) 做好电梯的维护保养工作

为确保电梯系统的安全稳定运行,必须建立完善的维护保养制度。共振现象作为常见的运行故障之一,需要重点关注并采取有效措施予以预防和治理。首先应组建专业的维保团队,配备必要的检测设备,定期对防共振装置进行全方位性能检测。其次要对轿厢结构、曳引机等关键部件开展周期性检查,通过振动测试、噪声监测等手段及时发现潜在隐患。对检测过程中发现的异常情况,应根据故障严重程度采取针对性处理:对于轻微异常可以进行维修,但是对损坏严重的部件则应立刻更换,确保设备始终处于良好状态。

总结

总而言之,开展振动路径传递的研究是解决电梯轿厢异常振动问题的关键手段,本文详细计算了电梯轿厢振动的一般原理和流程计算,明确了振动产生的原因及影响振动传递的因素,在电梯部件设计时就应充分考虑潜在振动风险,同时还应采取其他措施解决电梯轿厢共振的问题,不断优化电梯系统,满足乘客乘坐电梯的需求。

参考文献

- [1]马进.限速器导致电梯轿厢共振的传递路径分析[J].机电信息,2025(2).
- [2]胡伟健.一则电梯轿厢限速器—安全钳联动试验失效案例的分析[J].中国电梯,2022(03).
- [3]彭明华.曳引式电梯轿厢上行超速保护装置的类型和检验[J].上海铁道科技,2009.