

电梯运行振动与噪声控制技术分析

伍洪亮¹ 胡德宏¹ 杨江¹ 徐开东² 谭杰³

1. 杭州新马电梯有限公司 浙江 建德 311600

2. 浙江省特种设备科学研究院 浙江 杭州 310020

3. 温州市特种设备检测科学研究院 浙江 温州 325000

摘要: 本文围绕电梯运行振动与噪声的控制技术展开分析,阐述其机械、电气、结构层面的产生机理,剖析设备自身、运行工况、环境结构三大影响因素及危害。重点研究机械结构优化、电气系统调控、被动与主动减振降噪四类核心技术,结合老旧电梯案例验证方案有效性,总结实践经验,为电梯振动与噪声的科学控制、提升运行舒适性及安全性提供理论支撑与实践参考,助力同类电梯问题的高效解决。

关键词: 电梯; 运行振动; 噪声控制技术

引言: 随着城市化进程加快,电梯已成为高层建筑必备设施,其运行稳定性直接影响居民生活与出行安全。电梯运行中产生的振动与噪声,不仅降低乘坐舒适度、危害人体健康,还会加剧设备磨损、干扰周边环境。当前部分电梯尤其是老旧电梯,振动与噪声超标问题突出,不符合GB/T10058-2009标准要求。因此,深入研究其控制技术,解决运行中的振动噪声问题,具有重要的工程实践与现实意义。

1 电梯运行振动与噪声的产生机理及影响因素

1.1 电梯运行振动的产生机理

(1) 机械振动机理: 曳引系统、导向系统、门系统等核心机械部件,在运行中易出现摩擦、撞击及不平衡运转现象。曳引轮与钢丝绳的摩擦、导靴与导轨的接触偏差、门机开关时的撞击,均会引发轿厢与井道的振动,且振动会随部件磨损逐渐加剧。(2) 电气振动机理: 变频器、变压器等电气设备工作时产生的电磁干扰,会影响电机运行稳定性,导致电机转速波动,进而带动轿厢产生周期性振动;同时,电气回路的电流波动也会引发轻微振动,影响运行平顺性。(3) 结构振动机理: 电梯井道与建筑主体结构存在耦合作用,电梯运行产生的振动会通过井道墙体传递至建筑结构,若结构刚度不足,会放大振动效应,甚至引发建筑局部共振^[1]。

1.2 电梯运行噪声的产生机理

(1) 机械噪声: 机械部件的摩擦、啮合、撞击是主要噪声来源,导轨与导靴的长期摩擦、齿轮箱内齿轮啮合、曳引机运转时的部件接触,都会产生持续噪声,且噪声频率随运行速度变化。(2) 电气噪声: 电气设备运行时会产生电磁噪声和电流噪声,变频器工作时的高频电磁辐射、电机运行产生的电磁噪声,以及电气线路的

电流声,共同构成电气噪声,其音量随设备负载增加而增大。(3) 气动噪声: 电梯高速运行时,轿厢与井道内空气发生剧烈摩擦,产生气流紊动和涡流噪声;同时,井道通风系统的风机运转也会产生噪声,高速运行时气动噪声尤为明显。

1.3 电梯运行振动与噪声的主要影响因素

(1) 设备自身因素: 电梯部件的制造精度、材质性能及安装质量直接影响振动与噪声,导轨垂直度偏差、钢丝绳张力不均匀、部件装配间隙过大,都会加剧振动和噪声。(2) 运行工况因素: 电梯运行速度越高、启停频率越频繁,振动与噪声越明显;负载变化及乘客不当操作,如轿厢内跳跃,会破坏运行平衡,进一步放大振动与噪声。(3) 环境与结构因素: 温度、湿度变化会影响部件配合精度,加剧摩擦噪声;电梯井道结构刚度不足、建筑共振特性与电梯运行频率重叠,会放大振动与噪声传播。

1.4 振动与噪声的危害分析

(1) 对人体的危害: 长期接触电梯振动与噪声,会引发头晕、恶心、乏力等生理不适,影响神经系统和心血管健康,同时降低乘坐舒适度,引发烦躁、焦虑等不良心理状态。(2) 对设备的危害: 持续振动会加剧部件磨损,缩短钢丝绳、导轨等易损件使用寿命;噪声背后的异常振动还会引发电气系统故障,影响电梯运行安全性,增加维护成本。(3) 对环境的危害: 噪声会通过井道和建筑结构传播至室内,干扰居民正常生活、办公,破坏建筑环境的舒适性,甚至影响周边环境的安静度。

2 电梯运行振动与噪声控制技术研究

2.1 机械结构优化控制技术

(1) 曳引系统优化: 曳引系统作为电梯振动与噪声

的主要来源之一,优化重点在于降低部件运转损耗与振动传递。选用低噪声曳引机,采用精密齿轮加工工艺,提升齿轮啮合精度,减少齿轮啮合过程中的撞击与摩擦噪声;同时在曳引机底座配置高性能隔振装置,如橡胶隔振垫、阻尼隔振器,有效阻断曳引机运行时产生的振动向井道和建筑结构传递,从源头减少曳引系统引发的振动与噪声。(2)导向系统优化:导向系统的摩擦振动是电梯运行振动的重要组成部分,核心优化方向是提升精度与减少摩擦。提高导轨加工精度,严格控制导轨垂直度与表面粗糙度,避免导轨出现弯曲、凹凸等缺陷;安装过程中精准校准导轨位置,确保导轨与导靴的贴合度;采用新型耐磨、低摩擦导靴材料(如高分子复合材料),优化导靴结构设计,减少导靴与导轨之间的摩擦阻力,降低摩擦产生的振动与噪声^[2]。(3)轿厢结构优化:轿厢作为振动与噪声的承载与传递载体,优化重点是提升抗振能力与降噪效果。采用轻质高强复合材料替代传统钢材,在减轻轿厢自重的同时,保证结构强度;优化轿厢整体刚度与阻尼设计,合理布置加强筋,减少轿厢在运行过程中的共振现象;在轿厢底板、侧壁加装阻尼层,抑制振动传递,降低轿厢内的振动幅值与噪声强度,提升乘坐舒适性。

2.2 电气系统优化控制技术

(1)变频器参数优化:变频器的调速性能直接影响电机运行稳定性,进而影响振动与噪声。通过调整变频器的调速曲线,采用S型调速模式,实现电梯的软启动、软停止,避免电机转速突变引发的冲击振动;优化变频器的载波频率,减少变频器输出电流的谐波分量,降低电机转速波动,从电气层面减少振动与噪声的产生,同时提升电梯运行的平顺性。(2)电磁干扰抑制:电气设备产生的电磁噪声会干扰电梯运行,且易传播至周边环境。采用电磁屏蔽技术,对变频器、变压器等核心电气设备加装屏蔽罩,阻断电磁辐射传播;在电气线路中配置滤波装置,过滤电流中的杂波,减少电流噪声;优化电气线路布局,避免强电线路与弱电线路交叉布置,降低线路间的电磁干扰,减少电气系统产生的噪声。(3)电机优化:电机是电梯运行的动力源,其运行状态直接影响振动与噪声水平。选用低噪声永磁同步电机,替代传统异步电机,该类型电机运行平稳、噪声低、效率高;提高电机转子的动平衡精度,减少转子运转过程中的不平衡振动;优化电机绕组结构,降低电机运行时的电磁噪声,同时加强电机的散热设计,避免因过热导致的振动与噪声加剧。

2.3 被动减振降噪技术

(1)隔振技术:被动隔振是阻断振动传递的有效手段,核心是在振动源与传递路径之间设置隔振装置。在曳引机、轿厢、门机等振动源底部安装适配的隔振垫、弹簧隔振器,利用隔振材料的弹性与阻尼特性,吸收振动能量,阻断振动向井道、建筑结构及轿厢内部传递;针对钢丝绳等柔性传递部件,优化钢丝绳张力,加装阻尼器,减少钢丝绳振动引发的噪声。(2)隔声技术:重点阻断噪声的传播路径,减少噪声向建筑室内及周边环境扩散。在电梯井道内壁、机房墙面与顶面铺设隔音材料(如隔音棉、隔音板),增强井道与机房的隔声性能;安装隔音门窗,减少机房噪声通过门窗向外传播;在轿厢与井道之间的间隙设置隔音密封件,阻断井道内的噪声传入轿厢内部^[3]。(3)吸声技术:主要针对空气中传播的噪声,通过吸声材料吸收噪声能量,降低噪声幅值。在轿厢内部墙面、顶面安装吸声材料(如多孔吸声板、布艺吸声材料),吸收轿厢内的反射噪声,改善轿厢内声学环境;在电梯井道内壁加装吸声层,吸收井道内机械噪声、气动噪声的传播能量,减少噪声在井道内的反射与叠加。

2.4 主动减振降噪技术

(1)主动隔振控制:区别于被动隔振的被动缓冲,主动隔振通过智能调控实现动态减振。在电梯关键部件(如曳引机、轿厢)上安装智能阻尼器、可调节刚度弹簧,搭配振动传感器,实时监测振动状态与幅值;通过控制系统分析振动数据,动态调整阻尼器阻尼系数与弹簧刚度,主动抵消振动能量,有效抑制不同运行工况下的振动,减振效果更具针对性。(2)主动噪声控制:采用ANC主动降噪系统,针对轿厢内的低频噪声进行精准控制。在轿厢内安装麦克风与扬声器,麦克风实时采集轿厢内的噪声信号,控制系统分析噪声的频率与幅值,通过扬声器发射与噪声频率相同、相位相反的声波,利用声波抵消原理,有效降低轿厢内的噪声幅值,尤其对电气噪声、气动噪声的控制效果显著^[4]。(3)智能监测与调控:构建全流程监测与调控体系,在电梯井道、轿厢、机房部署振动与噪声监测装置,实时采集运行过程中的振动频率、噪声分贝等数据;通过智能算法对数据进行分析,识别振动与噪声的异常来源,自动优化控制策略,调整相关设备参数,实现振动与噪声的动态调控,同时为电梯维护提供数据支撑,提前排查潜在故障。

3 案例分析与效果验证

3.1 案例概况

(1)电梯基本信息:本次案例选取某住宅小区1号楼2部无机房电梯,型号为OTISGEN2-MRL,额定载重量

1000kg, 额定运行速度1.75m/s, 安装于2018年, 已运行8年。电梯安装环境为钢筋混凝土井道, 紧邻居民卧室, 运行过程中轿厢内及井道周边出现明显振动, 启停阶段噪声尤为突出。经初步排查, 存在曳引机振动、导轨摩擦异响、变频器电磁噪声等问题, 影响居民正常生活及电梯乘坐体验。(2) 问题诊断: 通过专业检测设备实地检测, 结果显示: 轿厢运行时振动加速度为 0.15m/s^2 , 超出GB/T10058-2009标准规定的 0.10m/s^2 限值; 轿厢内噪声在启停阶段达62dB(A), 运行阶段达58dB(A), 均超出标准限值(启停 $\leq 55\text{dB(A)}$ 、运行 $\leq 50\text{dB(A)}$)。进一步诊断确定, 主要产生源为曳引机齿轮啮合磨损、导轨垂直度偏差、变频器参数不合理, 影响因素包括部件老化、安装精度不足及运行工况频繁。

3.2 控制方案设计与实施

(1) 方案设计: 结合案例电梯的实际问题及运行特点, 制定一体化减振降噪方案。机械结构方面, 优化曳引系统与导向系统, 更换磨损齿轮、校准导轨; 电气系统方面, 优化变频器参数、加装电磁屏蔽装置; 同时采用被动减振降噪技术, 搭配主动监测调控, 确保方案针对性与可行性, 目标是将振动加速度控制在 0.10m/s^2 以内, 噪声降至标准限值以下。(2) 实施过程: 严格按照施工流程规范操作, 先停机拆卸曳引机, 更换精密啮合齿轮, 在底座加装阻尼隔振垫; 对导轨进行重新校准, 调整垂直度, 更换高分子复合导靴; 优化变频器调速曲线, 采用软启动/软停止模式, 加装电磁屏蔽罩与滤波装置; 在轿厢内壁加装吸声材料, 井道内壁铺设隔音棉, 轿厢底部安装弹簧隔振器。施工过程中重点把控安装精度, 做好各部件调试, 确保各项技术措施落实到位, 全程耗时7天完成实施^[5]。

3.3 控制效果检测与分析

(1) 检测指标: 以振动加速度(m/s^2)、轿厢内噪声声级(dB(A))为核心检测指标, 分别在电梯空载、满载两种工况下, 对方案实施前后的数值进行对比检测, 每个工况检测3次, 取平均值作为最终结果。同时检测井道周边环境噪声, 验证噪声传播控制效果。(2) 效果分析: 检测结果显示, 实施后轿厢运行振动加速度降至 0.08m/s^2 , 符合标准要求; 轿厢内启停阶段噪声降至53dB(A), 运行阶段降至48dB(A), 井道周边噪声较之前

降低10dB(A), 各项指标均达到GB/T10058-2009标准。验证表明, 机械结构优化有效解决了部件摩擦振动问题, 电气参数调整抑制了电磁噪声, 减振降噪装置阻断了振动与噪声传递, 方案整体有效且稳定。

3.4 案例总结与经验启示

(1) 案例总结: 本次方案的优势的是结合电梯老化特点, 针对性选用机械优化与被动减振降噪结合的方式, 成本可控、实施便捷, 且效果显著; 不足在于未采用主动降噪系统, 对低频气动噪声的控制效果有限, 实施过程中导轨校准耗时较长。关键要点是前期精准诊断问题根源, 施工中严格把控安装精度, 后期做好设备调试与数据监测。(2) 经验启示: 为同类老旧电梯的振动与噪声控制提供实践参考, 老旧电梯应优先排查部件老化与安装精度问题, 优先采用成本低、效果稳的机械优化与被动减振技术; 对于紧邻居民区域的电梯, 可搭配主动降噪系统提升控制效果; 同时应建立定期检测与维护机制, 及时调整设备参数, 延长电梯使用寿命, 保障运行舒适性与安全性。

结束语

电梯运行振动与噪声控制是系统性工程, 需结合产生机理与实际工况, 统筹运用机械优化、电气调控、被动与主动减振降噪技术, 才能实现精准管控。案例验证表明, 科学的控制方案可有效将振动与噪声控制在标准范围内。未来需进一步优化技术方案, 融合智能监测技术, 降低实施成本, 同时建立定期维护机制, 持续提升电梯运行的平顺性与安全性, 满足人们对高品质出行的需求。

参考文献

- [1]康立仁.电梯检测中电梯运行共振原因与应对策略[J].中国标准化,2022,10(13):165-167.
- [2]白坤举.曳引式电梯机械系统垂直振动的原因分析与抑制[J].海峡科技与产业,2023,9(10):75-77.
- [3]熊小虎.电梯运行中振动现象的产生原理浅析[J].科技资讯,2021,17(6):62-63.
- [4]陈宏意.电梯运行振动原因及减振方法探讨[J].机械工程师,2023,18(1):250-252.
- [5]王祥.电梯运行振动原因及减振方法探讨[J].住宅与房地产,2021,8(6):99-102.