

电梯机械结构可靠性分析与优化设计

姚彤彤^{1,2}

1. 天津市特种设备监督检验技术研究院 天津 300110

2. 天津特检智慧科技有限公司 天津 300110

摘要：电梯机械结构可靠性分析与优化设计旨在提高电梯的安全性与运行效率。通过对电梯关键部件如门系统、曳引系统、导向系统及安全保护装置的可靠性进行深入分析，采用先进的建模、仿真与优化技术，提出针对性的优化设计策略。本研究不仅关注电梯的机械性能，还综合考虑了乘客的舒适感与节能环保需求，为电梯行业的可持续发展提供了有力支持。

关键词：电梯机械结构；可靠性分析；优化设计

引言：随着城市化进程的加速，电梯作为现代建筑的重要交通工具，其安全性与可靠性备受关注。电梯机械结构的可靠性分析是确保电梯安全运行的基础，而优化设计则是提升电梯性能的关键。本文将对电梯机械结构的可靠性进行深入探讨，并提出相应的优化设计方法，以期电梯行业的创新发展提供有益参考。

1 电梯的基本概念

电梯，作为现代建筑中不可或缺的垂直运输工具，其基本概念涵盖了其结构、功能及运行原理。简而言之，电梯是一种通过电力驱动，在垂直井道内上下运动的封闭式箱体，旨在为乘客或货物提供快速、便捷的楼层间移动服务。电梯通常由轿厢、井道、导轨、驱动系统、控制系统、安全装置等关键部分组成。轿厢是乘客或货物乘坐的空间，内部装有照明、通风、控制面板等设施。井道是电梯运行的通道，由钢筋混凝土或钢结构构成，内部装有导轨确保电梯稳定行驶。驱动系统利用电动机通过钢丝绳或传动带牵引轿厢上下移动。控制系统则负责接收乘客的指令，并精确控制电梯的停靠、启动和制动。为确保乘客安全，电梯还配备了多重安全装置，如限速器、安全钳、缓冲器、门锁等，能够在电梯超速、超速下降或发生其他异常情况时及时启动，保护乘客免受伤害。

2 电梯的工作原理

2.1 曳引轮驱动与电梯升降原理

曳引轮驱动是电梯升降的核心机制。电梯的轿厢和对重通过钢丝绳悬挂于曳引轮的两侧。曳引轮由电动机驱动旋转，当曳引轮转动时，钢丝绳在曳引轮的槽内产生摩擦力，带动轿厢和对重在井道中上下移动^[1]。为了确保轿厢的稳定性和安全性，井道内设有垂直的导轨，轿厢通过导靴与导轨紧密相连，沿导轨平稳滑动。当曳引

轮顺时针旋转时，轿厢上升，对重下降；反之，曳引轮逆时针旋转时，轿厢下降，对重上升。这种平衡设计不仅提高电梯的运行效率，还确保能耗的降低。

2.2 控制系统与电梯运行逻辑

电梯的控制系统是其智能运行的关键。控制系统主要由呼梯按钮、楼层显示器、门控系统、位置传感器和主控制器等组成。当乘客按下呼梯按钮时，信号被传输至主控制器，主控制器根据当前的电梯状态（如轿厢位置、运行方向、是否满载等）和呼叫请求的优先级，决定哪部电梯响应呼叫。一旦决定，主控制器会向驱动系统发出指令，启动电梯向目标楼层移动。门控系统会确保在电梯到达楼层时，轿厢门和厅门同步开启或关闭。位置传感器则实时监测电梯的位置，确保电梯准确停靠。

3 电梯机械结构各部件的可靠性评估

3.1 门系统的可靠性分析

门系统是电梯的重要组成部分，其可靠性直接关系到电梯的安全运行和乘客的出入便捷。厅门和轿厢门是电梯的出入口，其材质和制造工艺需具备良好的耐用性和抗变形能力。门扇的开启和关闭动作应平稳、迅速且无卡顿，确保乘客进出电梯时的顺畅与安全。门锁装置是确保电梯门在关闭状态下保持锁紧的关键部件，其可靠性直接关系到电梯的安全运行。门锁装置应具备良好的自锁能力和抗冲击能力，确保在电梯运行过程中门不会意外打开。门驱动装置负责驱动门扇的开启和关闭动作，其性能直接影响门系统的运行效率和可靠性。门驱动装置应具备稳定的驱动力和精确的控制能力，确保门扇在开启和关闭过程中动作平稳、迅速且无异常声响。门驱动装置还应具备良好的故障检测和自我保护能力，一旦出现故障能够立即停止运行并发出警报。门安全保护装置是确保电梯门在异常情况下能够迅速响应并保护

乘客安全的关键部件。常见的门安全保护装置包括安全触板、光幕保护装置以及门限位开关等。这些装置应具备高灵敏度和快速响应能力,一旦检测到异常情况能够立即停止门扇动作并发出警报,确保乘客的安全。在可靠性评估方面,门系统的故障率应低于行业平均水平,且故障修复时间应尽可能短。门系统的使用寿命也是评估其可靠性的重要因素。优质的门系统应具备较长的使用寿命,且在使用过程中性能稳定,不易出现故障。

3.2 曳引系统的可靠性分析

优质的曳引机应具备高效的传动效率和稳定的运行性能,确保电梯在升降过程中动作平稳、迅速且无异常声响。曳引机的制造工艺和材料选择也至关重要,应具备良好的耐用性和抗磨损能力,确保长期稳定运行。曳引轮是曳引机与钢丝绳之间的传动部件,其表面应经过精密加工处理,以提高与钢丝绳之间的摩擦力和传动效率。曳引轮的材质和制造工艺直接影响其耐用性和抗磨损能力^[2]。优质的曳引轮应具备较长的使用寿命,且在使用过程中性能稳定,不易出现故障。钢丝绳是曳引系统的重要传动部件,其质量直接影响电梯的升降效率和安全性。钢丝绳应具备高强度、高韧性和良好的抗磨损能力,确保在长期使用过程中不易断裂或磨损过度。钢丝绳的安装和维护也至关重要,应确保其张紧度适中、排列整齐且无异常磨损。制动装置是曳引系统的重要安全保护装置,其可靠性直接关系到电梯在紧急情况下的制动能力和安全性。制动装置应具备良好的制动性能和快速响应能力,一旦检测到异常情况能够立即启动制动并停止电梯的运行,制动装置还应具备良好的耐磨损能力和自我检测能力,确保其长期稳定运行。在可靠性评估方面,曳引系统的故障率应低于行业平均水平,且故障修复时间应尽可能短。通过对曳引系统的定期维护和检查,可以及时发现并解决潜在的安全隐患,确保其长期稳定运行。同时对曳引系统的关键部件进行定期更换和升级,也可以提高其可靠性和使用寿命。

3.3 导向系统的可靠性分析

导轨应由高强度钢材制成,具备良好的抗变形能力和耐用性。导轨的安装应确保其与井道壁之间的间隙适中、排列整齐且无异常磨损。导轨的定期维护和检查也至关重要,应确保其表面清洁、无锈蚀和异物附着。导靴是安装在轿厢和对重底部的导向部件,其与导轨之间的摩擦力和间隙直接影响电梯的运行稳定性和噪音水平。导靴的材质和制造工艺应具备良好的耐磨性和抗变形能力,确保在长期使用过程中不易磨损或变形。导靴的调整和维护也至关重要,应确保其与导轨之间的间隙

适中、摩擦均匀且无异常声响。位置检测装置是监测电梯轿厢在井道中位置的关键部件,其可靠性直接关系到电梯的停靠准确性和安全性。常见的位置检测装置包括光电开关、接近传感器以及编码器等。这些装置应具备高灵敏度和快速响应能力,能够准确检测电梯轿厢的位置并发出相应的控制信号。在可靠性评估方面,导向系统的故障率应低于行业平均水平,且故障修复时间应尽可能短。通过对导向系统的定期维护和检查,可以及时发现并解决潜在的安全隐患,确保其长期稳定运行。同时对导轨和导靴等关键部件进行定期更换和升级,也可以提高其可靠性和使用寿命。

3.4 轿厢系统与重量平衡系统的可靠性分析

轿厢框架是轿厢系统的主体结构,其材质和制造工艺应具备良好的强度和刚性,确保在电梯运行过程中能够承受各种载荷和冲击。轿厢壁板、地板以及门等部件的材质和制造工艺也至关重要,应具备良好的耐用性和抗变形能力。轿厢内部的照明、通风和装饰等也应符合相关标准和要求,确保乘客的舒适体验。对重装置是重量平衡系统的核心部件,其与轿厢之间通过钢丝绳相连,形成相对平衡的关系。对重装置的重量和配置应根据电梯的载重能力和运行要求进行合理设计,确保电梯在升降过程中保持平稳运行。对重装置的材质和制造工艺也至关重要,应具备良好的耐用性和抗变形能力。补偿装置是重量平衡系统的重要辅助部件,其作用是补偿因电梯提升高度增加而产生的钢丝绳重量变化,确保电梯在升降过程中保持稳定的曳引性能。补偿装置通常由补偿链或补偿绳等组成,其材质和制造工艺应具备良好的耐用性和抗磨损能力。补偿装置的安装和维护也至关重要,应确保其张紧度适中、排列整齐且无异常磨损。在可靠性评估方面,轿厢系统与重量平衡系统的故障率应低于行业平均水平,且故障修复时间应尽可能短。通过对轿厢系统与重量平衡系统的定期维护和检查,可以及时发现并解决潜在的安全隐患,确保其长期稳定运行。对轿厢框架、对重装置以及补偿装置等关键部件进行定期更换和升级,也可以提高其可靠性和使用寿命,还应加强对电梯运行数据的监测和分析,及时发现异常情况并采取相应措施进行处理,确保电梯的安全运行^[3]。

4 电梯机械结构关键部件的优化设计

4.1 门系统优化设计

门系统是电梯的重要组成部分,其优化设计旨在提高门的开关效率、降低噪音、增强安全性和耐用性。在门扇的材质选择上,可以采用轻质高强度的复合材料,如碳纤维或玻璃纤维增强塑料,以降低门扇的重量,同

时提高抗变形能力。门扇的开启和关闭机构应设计为低噪音、高效率的电动驱动系统,采用静音电机和精密的传动机构,减少开关过程中的噪音和振动。门锁装置的设计应更加注重安全性和可靠性,采用先进的电子门锁技术,如磁锁或电磁锁,可以实现更快速、更准确的锁定和解锁操作。门锁装置应配备冗余安全回路,确保在门锁失效时能够立即停止电梯的运行,保障乘客的安全。门系统的优化设计还应考虑乘客的便捷性和无障碍性。门扇的开启宽度和高度也应根据人体工程学原理进行合理设计,确保乘客能够轻松进出电梯。

4.2 曳引系统优化设计

曳引系统是电梯的动力来源,其优化设计旨在提高曳引效率、降低能耗、增强稳定性和耐用性。在曳引机的选择上,应采用高效节能的永磁同步曳引机,这种曳引机具有体积小、重量轻、效率高、噪音低等优点,能够显著降低电梯的能耗和运行成本。永磁同步曳引机的控制精度更高,可以实现更平稳、更快速的电梯运行。曳引轮和钢丝绳的优化设计也是提高曳引效率的关键,曳引轮应采用耐磨、耐腐蚀的高强度材料制成,表面进行精密加工处理,以提高与钢丝绳之间的摩擦力和传动效率。钢丝绳则应选择高强度、低伸长率的优质材料,确保在长期使用过程中不易断裂或磨损过度。曳引系统的优化设计还应考虑节能和环保。曳引系统的运行参数应根据实际情况进行精确调整,确保在满足乘客需求的同时实现最低能耗。

4.3 导向系统优化设计

导向系统是确保电梯轿厢在井道中稳定、安全运行的关键部件。在导轨的选择上,应采用高精度、高强度的导轨材料,如优质合金钢或不锈钢。导轨的表面应进行精密加工处理,以提高其抗磨损能力和导向精度。导轨的安装精度也应严格控制,确保其与井道壁之间的间隙适中、排列整齐^[4]。导靴的优化设计也是提高导向精度的关键,导靴应采用耐磨、耐腐蚀的材料制成,与导轨之间的间隙应精确调整,以确保轿厢在升降过程中能够

平稳运行。导靴的润滑系统也应进行优化设计,以减少摩擦和噪音,提高导向系统的耐用性。导向系统的优化设计还应考虑节能和环保。

4.4 安全保护装置优化设计

安全保护装置是电梯的重要组成部分,其优化设计旨在提高电梯的安全性和可靠性。首先,在超速保护装置的设计上,应采用先进的电子式超速保护装置,如编码器或光电开关等。这些装置能够实时监测电梯的运行速度,并在超速时立即发出警报并停止电梯的运行。超速保护装置还应具备冗余设计,确保在单一故障情况下仍能正常工作。其次,在缓冲装置的设计上,应采用高性能的能量吸收材料,如液压缓冲器或弹簧缓冲器等。这些装置能够在电梯发生坠落或超速下降时迅速吸收能量,减缓轿厢的冲击速度,保护乘客的安全。另外,安全保护装置的优化设计还应考虑乘客的便捷性和无障碍性。安全保护装置的操作界面也应简洁明了,方便乘客在紧急情况下快速找到并使用。

结束语

通过对电梯机械结构可靠性分析与优化设计的研究,我们深刻认识到电梯安全性能的重要性。本文提出的优化设计策略不仅提升了电梯的机械性能和运行效率,还充分考虑了乘客的舒适感与节能环保需求。未来,将继续探索更加先进、高效的电梯优化设计方法,致力于推动电梯行业的可持续发展,为人们的日常生活提供更加安全、便捷、舒适的垂直交通体验。

参考文献

- [1]罗阔.基于光强分布模型构建的单光场式时栅栅面优化与机械结构设计[D].导师:付敏.重庆理工大学,2024.
- [2]马林春.基于强度与刚度要求的机械结构设计优化[J].中国机械,2023,(34):21-24.
- [3]黄泽雄.人工智能技术在电梯领域的应用[J].科技创新与应用,2024,14(33):178182.
- [4]李少雄,卢文刚.电梯安全运行可靠性分析[J].产品可靠性报告,2024,(10):6768.