

老旧电梯传动机构能效提升改造关键技术与应用

张立红

广东岭南职业技术学院，广东 广州 510630

DOI:10.61369/ME.2025070028

摘 要： 本论文主要就老旧电梯传动机构的能效提升展开讨论，在分析老旧电梯传动系统“异步电动机+蜗轮蜗杆减速箱”的传统传动系统能效机理及能耗瓶颈的基础上，阐述了永磁同步无齿轮曳引技术、先进的控制与驱动方式、制动能量回收和电梯附属系统的优化等关键技术及其节能机理；并从安全性经济性的角度提出了综合改造的设计流程，根据不同的应用场合，分级推出了阶梯式的电梯技术组合方式，并对老旧电梯改造中的系统兼容性问题、土建适应性问题以及电磁安全问题进行了讨论。

关 键 词： 老旧电梯；传动机构改造；能效提升

Key Technologies and Applications for Energy Efficiency Improvement and Renovation of Old Elevator Drive Mechanisms

Zhang Lihong

Guangdong Lingnan Institute of Technology, Guangzhou, Guangdong 510630

Abstract： This thesis mainly discusses the energy efficiency improvement of the transmission mechanism of old elevators. Based on the analysis of the energy efficiency mechanism and energy consumption bottleneck of the traditional transmission system of "asynchronous motor + worm gear reducer" in old elevators, This paper expounds the key technologies such as permanent magnet synchronous gearless traction technology, advanced control and drive methods, braking energy recovery and optimization of elevator accessory systems, as well as their energy-saving mechanisms. From the perspectives of safety and economy, a comprehensive renovation design process was proposed. According to different application scenarios, a stepwise elevator technology combination method was introduced in a hierarchical manner. The system compatibility issues, civil engineering adaptability issues, and electromagnetic safety issues in the renovation of old elevators were also discussed.

Keywords： old elevator; transmission mechanism renovation; energy efficiency improvement

引言

老旧电梯存在能耗较高、运行效率较低的情况，对于老旧电梯传动机构实施节能技术改造是建筑节能的一项重要内容。本文系统探讨了老旧电梯传动机构节能关键技术，并提出通过技术升级和方案优化使电梯的能耗降下来、速度提上去，确保电梯节约成本、高效运行的技术路径，对当前建筑节能具有重要意义。

一、老旧电梯传动系统能效机理与关键问题分析

（一）电梯传动系统的基本构成与工作原理

老旧电梯传动系统是保障电梯安全稳定运行的核心动力单元，其基本构成包含曳引系统、电力拖动系统及配套辅助部件，各部分协同作用实现电能到机械能的转化与传递。其中，曳引系统作为核心执行模块，由曳引机、曳引轮与钢丝绳组成，曳引机通过输出扭矩驱动曳引轮旋转，再借助钢丝绳与曳引轮之间的摩擦力带动轿厢与对重做垂直运动，完成乘客或货物的运输作业；电力拖动系统则承担动力供给与运行控制功能，电动机为曳引系

统提供原始动力，传统老旧电梯多采用异步电动机，而变频器与控制系统通过调节电机输入电压、频率来控制电机转速，进而实现轿厢启停、调速等动作的精准操控。从能量传递路径来看，整个过程始于电网输送的电能，电能首先进入电力拖动系统，经变频器整流、逆变后转化为适配电动机运行的电能，驱动电动机运转并将电能转化为机械能，随后机械能通过曳引机内部的传动结构传递至曳引轮，最终由曳引轮与钢丝绳的摩擦力转化为轿厢升降的机械动能^[1]。

（二）典型老旧电梯传动系统技术特征与能效瓶颈

典型老旧电梯传动系统在技术架构上呈现显著的时代局限

性，其核心配置“异步电动机+蜗轮蜗杆减速箱”虽能满足基础运行需求，但存在先天能效短板：异步电动机因定子气隙磁场耦合特性，在轻载、启停阶段易出现功率因数低、铜损与铁损占比高的问题，且传统滑差调速方式难以实现精准转速控制，进一步加剧能耗；蜗轮蜗杆减速箱虽具备传动比大、运行平稳的优势，但其啮合副以滑动摩擦为主，相较于现代行星齿轮传动，机械损耗率显著更高，尤其在长期运行后，蜗轮齿面磨损、润滑失效会导致传动效率进一步衰减。在能量处理环节，老旧电梯普遍采用能耗制动电阻实现减速与停车控制，其工作机理是将电梯下行或制动时异步电机产生的再生电能通过电阻转化为热能散发，这一过程不仅造成可回收能量的完全浪费，还需额外配置散热装置以避免电阻过热，形成“能耗叠加”问题^[2]。

（三）电梯能耗模型与能效评价指标

电梯的能耗模型建立在对一个完整运行周期各阶段能耗构成的精细剖析之上。该周期通常包含启动、匀速、制动与待机四个典型阶段。在启动加速阶段，曳引机需输出巨大转矩以克服系统惯性，电流骤增，是能耗的高峰期；匀速运行阶段，能耗主要用于克服运行阻力，其值与负载和速度直接相关，相对稳定；在制动减速阶段，电机处于发电状态，传统系统通过制动电阻将再生电能以热能形式耗散，造成能量浪费；而在待机阶段，控制系统、轿厢照明及通风等附属设备的持续运行则产生看似微小但累积可观的静态能耗。为科学量化上述能耗水平，需借助关键能效评价指标，主要包括：用于宏观衡量电梯运输效率的“单位时间能耗”；反映电力利用效率、数值越高代表电网侧电能利用率越佳的“功率因数”；以及评估其对电网质量影响程度、数值越低表明谐波污染越小的“总谐波失真（THD）”^[3]。

二、老旧电梯传动机构能效提升关键技术

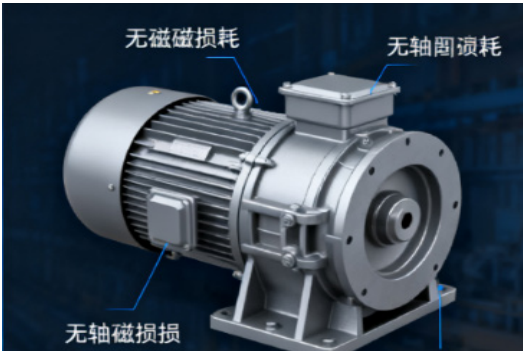
（一）核心传动部件的升级技术

永磁同步无齿轮曳引技术的应用从根本上革新了传统传动模式，其技术原理在于利用永磁体励磁取代了异步电机的电励磁，从而消除了励磁电流产生的损耗，实现了极高的运行效率；同时，它取消了庞大的齿轮减速箱，将曳引轮直接安装在电动机的转子上，形成了紧凑的同轴传动结构，如图1所示，这不仅显著提高了功率密度，还因消除了齿轮啮合所需的润滑和机械磨损，达成了运行低噪音与免维护的优势。在改造方案上，其核心是直接替换原有的异步电动机加蜗轮蜗杆减速箱组成的传动总成。这一替换彻底简化了机械传动链，将多级传递变为直接驱动，从根本上避免了齿轮传动固有的能量损耗，使得传动系统的综合效率得以大幅提升，这是对老旧电梯进行深度节能改造最根本的技术路径^[4]。

（二）制动能量回收技术

制动能量回收技术是针对电梯在重载下行或轻载上行等工况中产生的再生电能的有效利用方案，主要包括两种技术路径。其一为能量回馈装置，其技术核心是利用有源前端逆变技术将电机发电状态产生的直流电逆变成与电网同频同相的交流电，并回馈至建筑电网供其他用电设备使用；该技术的实施关键在于必须确

保回馈电流的质量，即实现低总谐波失真（THD）以满足电网谐波标准，同时要解决并网时的孤岛效应等安全问题并符合电磁兼容性（EMC）要求。其二为超级电容储能技术，其原理是将再生电能瞬时存储于安装在轿厢或机房的超级电容中，由于其具有高功率密度和快速充放电特性，非常适合电梯频繁、短时、大功率的制动工况；所储存的电能可直接用于本梯的后续启动或照明系统，实现能量的局域消纳^[5]。



（图1：永磁同步曳引机）

（三）附属系统优化技术

附属系统的优化是能效提升改造中不可或缺的环节，其重点在于降低电梯待机与运行过程中的辅助能耗。在照明系统方面，将轿厢、层站显示及井道内的传统照明光源全面更换为低功耗的LED灯具，可直接大幅降低其运行能耗；并进一步引入基于红外感应或轿内摄像智能识别的人员感应系统，以及根据闲时、忙时预设的定时策略，实现“人来自动亮，人走自动灭”的待机节能控制，有效消除无人乘梯时的照明浪费。在通风系统方面，则可将传统的常开式轿厢风扇升级为变频控制风扇，根据轿内人员数量或空气传感器数据自动调节风速^[6]。电梯附属系统改造前后的能耗与经济性参数对比见表1。由表1可见，轿厢照明系统经LED替换与感应控制改造后，日均能耗从3.84kWh降至0.84kWh，降幅达78.1%，投资回收期仅6个月，在三类附属系统中节能效益最显著；通风系统改造虽能耗降幅相对较低，但可有效避免待机时段的无效能耗，长期收益仍可观。

表1：附属系统改造前后能耗对比表

附属系统类型	改造前配置	改造后配置	单梯日均能耗(kWh)	能耗降幅(%)	投资回收期(月)
轿厢照明	40W 荧光灯 × 4 (常亮)	10W LED 灯 × 4 (人体感应控制)	3.84	78.1	6
层站显示	20W 白炽灯 × 每层	5W LED 灯 × 每层	1.92 (按10层计算)	73.9	8
轿厢通风	60W 常开风扇	30W 变频风扇 (智能启停)	5.76	58.3	10

三、能效提升综合改造方案设计与应用分析

（一）改造方案设计原则

能效提升综合改造方案能够落地和最终实施，主要还是依赖于设计时要遵守一定的原则以及流程控制。方案设计第一原则，

以安全为先,任何的技术改造都不允许降低或损害电梯系统整体的安全性能要求,并且要符合国家特种设备安全技术规范。第二原则是开展经济型的技术评价,在对比不同的技术线路的初期投入、节能量和维保成本的基础上进行全寿命周期的成本效益分析,并根据分析结果选择符合自身需要的最佳个性化改造方案^[7]。

(二) 不同技术路线的组合应用模式分析

在制定老旧电梯传动机构能效提升的综合改造方案时,必须根据电梯的实际运行特点、能耗水平及投资预算进行差异化设计,形成多层次的技术路线组合应用模式。对于医院、写字楼、大型商场等高使用频率、高能耗场合,应采用“深度节能模式”^[8]。该模式集成了永磁同步无齿轮曳引机、能量回馈装置和智能群控系统三项核心技术,通过永磁同步技术从传动根源上消除机械损耗,通过能量回馈系统将制动能量转化为可用电能,再结合智能控制算法优化运行效率,构建了一个完整的节能体系,虽初始投入较大,但能效提升幅度最为显著,投资回收期也相对合理。针对住宅楼、使用频率中等的公共建筑等场景,“经济节能模式”则更具适用性;该模式以永磁同步曳引机为核心,保留其高效率、免维护的优点,同时配以优化的变频驱动控制策略,通过改进电机控制算法和运行曲线来提升能效,虽未配置能量回馈系统,但已在核心传动效率和控制精度上实现了质的飞跃,在改造成本与节能收益间取得了最佳平衡。而对于预算有限或能耗问题不突出的特定场合,“局部优化模式”提供了一种灵活实用的解决方案,该模式仅对控制系统进行升级或对照明、通风等附属系统进行节能改造,虽未触及传动核心,但也能有效改善功率因数、降低待机损耗,以最小投入获得可观的节能效果,并为未来进一步改造预留了空间^[9]。

(三) 改造工程中的关键技术问题与对策

而当老旧电梯能效提升改造工程从方案设计转入现场施工的过程中,一定会面临着一系列困难的技术问题,能否克服这些问题,直接决定了老电梯能否完成改造及长期使用下的安全性、可

靠性等问题,其中主要涉及到的关键问题:一是新旧系统之间的兼容性和接口匹配问题。为了降低不必要的成本,在改造过程中大多数都采用了“部分更新、部分利旧”的方式来改造原有的设备,也就是说在某些方面是在继续沿用原有设备的基础上,在部分原有的基础上增加了高效曳引机、先进的控制系统等新型化的设备,这样就需要对新系统与原系统做出适当的修改和更换工作,就需要保证系统之间有着良好的匹配。涉及到这一部分内容包括了机械设备的安装接口、电气信号以及各型号机器间的通信等,对于设备本身来说也有一定的匹配困难,需要通过构建完整的技术包来解决以上问题。二是改造井道空间和土建结构,这里是指新型永磁同步主机和旧蜗轮主机在主机外形、自重、吊点受力上的差异较大,所以根据新的需求改造必须查看井道净空高度、底坑深度、顶层高度等是否能够满足新的设备需求。为满足主机的需求,必须要检查机房承重梁、曳引机混凝土基础是否符合新的负载能力的要求。对于已经建设完毕而无法达到上述条件的楼栋,需另行提出对相应方案的选择,可以考虑结构加固的方法或者选择主机更小、更轻便的型号来解决;其次就是电磁干扰抑制与电气安全防护。变频器、能量回馈单元等大功率电力电子器件都是谐波和电磁噪声的主要来源,这些器件产生的高次谐波和电磁辐射会严重影响电梯这个对微电子控制系统的异常敏感的设备,一旦发生这样严重的故障问题,会使电梯变得无法运行^[10]。

四、结语

综上所述,采用永磁同步曳引和先进控制与能量回馈等方法改造现有老旧电梯设备可以提升电梯能效,在改造过程中要根据实际情况选取最合适的改造技术组合,并且要注意改造工程的配合以及安全性问题。随着技术的不断发展,此项技术会更为成熟,可以给今后的电梯节能提供更多的支持。

参考文献

- [1] 张健,王子昊,张永举.电梯载重测试车传动机构的设计与仿真验证[J].中国电梯,2023,34(05):50-52.
- [2] 王正宇,朱瑞银,张子文.电梯健康监测模型与评价技术研究[J].中国电梯,2022,33(11):51-53.
- [3] 李猷凤.变频器在电气传动自动控制中的应用[J].黑龙江科学,2021,12(24):137-138.
- [4] 孔晓华.AI机器人在电梯检修中的应用研究[J].设备监理,2023,(03):57-60.
- [5] 丁帅阳,胡甲琦,阳一凡,等.基于Arduino单片机自动控制的电梯按钮自动消毒装置[J].电子技术与软件工程,2022,(06):70-73.
- [6] 穆长丽.一种自动简易型电梯导轨除锈装置的结构设计[J].中国电梯,2023,34(03):72-74+77.
- [7] 石璐,刘矿平,郜高高,等.变频器在电气传动自动控制中的应用与实践[J].电动工具,2022,(06):33-36.
- [8] 陈东,万文铭.自动扶梯驱动主机中的齿轮传动技术综述[J].中国电梯,2022,33(15):27-31.
- [9] 陈源,严波.无机房电梯主动双向盘车救援装置的研究与应用[J].自动化与仪器仪表,2022,(06):242-245.
- [10] 李明相,陈忠润.液压与气压传动技术的应用[J].集成电路应用,2022,39(02):190-191.