

电梯机电系统的机械能回收与再利用技术研究

蒋蕙宇

广西曦捷楼宇机电工程有限公司, 广西南宁, 530000;

摘要: 本研究针对电梯机电系统在运行过程中能量消耗大、机械能浪费严重的问题, 深入探讨了机械能回收与再利用技术。通过分析电梯机电系统的组成及其能量消耗特点, 提出了基于电磁感应、飞轮储能和液压储能等多种技术的机械能回收方案。系统设计包括能量转换装置、储能装置、控制系统和辅助装置四个主要模块, 并通过实验和仿真验证了系统的可行性和有效性。实验结果表明, 系统能够有效回收制动过程中产生的机械能, 转换效率达 85% 以上, 储能效率达 90% 以上, 显著提升了电梯系统的整体能效, 降低了建筑能耗。研究还分析了该技术的应用前景和经济效益, 证实其在节能减排和绿色建筑领域具有重要的推广价值。

关键词: 电梯机电系统; 机械能回收; 能量转换; 储能装置; 节能减排

DOI: 10.64216/3080-1508.25.06.019

引言

电梯机电系统是现代建筑中不可或缺的垂直运输设备, 广泛应用于高层建筑、商业综合体和住宅小区。然而, 电梯在运行过程中, 特别是在启动、加速和减速阶段, 消耗大量电能, 同时制动时产生的机械能多以热能形式散失, 造成能源浪费。

为解决这一问题, 研究电梯机械能的回收与再利用技术具有重要意义。该技术可将制动过程中产生的机械能转化为电能或其他可利用形式, 提升能源利用率, 降低运行成本。同时, 有助于减少建筑整体能耗, 符合绿色节能的发展趋势, 并推动相关技术进步和产业升级。

电梯能耗主要集中在曳引机的启动、加速、匀速运行及减速停车阶段, 尤以启动和加速阶段耗能最大。尽管现有节能技术如能量回馈、变频调速和永磁同步电机已在一定程度上提升了能效, 但仍存在技术瓶颈和应用限制。

因此, 深入研究电梯机电系统的机械能回收技术, 通过优化能量转换、储能装置和控制系统, 实现高效回收与再利用, 不仅可提升电梯能效, 也将为建筑节能提供新的技术路径。该研究在经济效益与社会效益方面均具有重要价值。

1 电梯机电系统概述

电梯机电系统是现代建筑中重要的垂直运输设备, 主要由曳引系统、控制系统、门系统、安全保护系统和电力驱动系统等组成。曳引系统通过曳引机带动钢丝绳实现轿厢上下运动; 控制系统处理运行信号, 确保运行准确与安全; 门系统负责乘客进出; 安全保护系统提供多重保障; 电力驱动系统则为整个系统提供动力。

电梯能耗主要集中在曳引机的启动、加速、匀速运行及减速停车阶段。其中, 启动和加速阶段需克服惯性, 耗能最大; 匀速运行阶段虽能耗较低, 但因频繁启停仍造成较大损耗; 减速阶段产生的机械能多以热能形式散失, 未能有效回收。

为降低能耗, 现有节能技术包括能量回馈、变频调速和永磁同步电机应用等。能量回馈技术可将制动产生的机械能转化为电能并回馈电网; 变频调速通过优化运行曲线减少能耗; 永磁同步电机因效率高、功率因数好, 已广泛应用于电梯系统。

尽管已有一定成效, 但这些技术仍存在局限。如能量回馈技术受电网稳定性影响较大; 变频调速在复杂工况下控制精度有待提升; 永磁同步电机成本较高且维护难度大。

因此, 深入研究电梯机械能的回收与再利用技术具有重要意义。通过优化能量转换、储能装置和控制系统, 有望实现高效回收与再利用, 进一步提升电梯能效水平, 助力建筑节能发展, 拓展新的技术路径和应用前景。

2 机械能回收技术原理

机械能回收技术旨在将电梯运行中未被利用的机械能转化为可再用能量, 提升能源利用效率。其原理基于能量守恒定律, 即机械能在电梯减速制动时可通过不同方式转换为电能或其他可用形式。

常见的机械能回收技术包括电磁感应、飞轮储能和液压储能。电磁感应技术通过发电机将机械能转为电能并回馈电网, 结构简单、响应快, 但在低速时效率较低。飞轮储能利用高速旋转的飞轮储存能量, 在需要时释放, 具有能量密度高、响应快的优点, 但制造要求高、存在

安全风险。液压储能则通过液压系统储存和释放能量，适用于能量需求波动大的场合，但系统复杂、维护成本高。

在电梯系统中选择合适的回收技术需综合考虑运行工况、技术成熟度和经济性。电磁感应适用于电网稳定、运行频繁的场所；飞轮储能适合对响应速度要求高的系统；液压储能更适合复杂多变的运行环境。

综上，合理选用机械能回收技术有助于提升电梯系统的能效水平，降低建筑能耗，推动绿色节能发展。

3 电梯机械能回收系统设计

在电梯机电系统中，机械能回收与再利用技术的系统设计旨在实现高效、稳定和安全的能量转换与储存，提升整体能源利用率。设计目标包括：最大限度回收制动过程中的机械能，确保能量转换与储存的安全性、稳定性，以及系统的经济性和可维护性。

为实现上述目标，系统设计遵循以下原则：一是保障安全性，避免引入新的风险；二是提高能量转换效率，减少损耗；三是结构简洁，便于维护；四是具备兼容性和扩展性，适应不同电梯系统需求。

系统主要由四个模块组成：能量转换装置、储能装置、控制系统和辅助装置。其中，能量转换装置是核心，负责将机械能转化为电能或其他可用形式，常用技术包括电磁感应、飞轮储能和液压储能等。

储能装置用于存储转换后的能量，常见介质有电池、超级电容器和液压蓄能器。电池储能容量大但寿命有限；超级电容器充放电快、寿命长但储能较小；液压蓄能器适用于高功率场合，但结构复杂、维护成本高。

控制系统负责协调各模块运行，通过传感器监测电梯状态，控制器动态调整能量管理策略，通信模块保障信息交互，确保系统高效稳定运行。

关键技术及其实现方法是系统设计的核心。能量转换装置的设计需考虑转换效率、响应速度和可靠性等因素。电磁感应技术的实现需优化发电机的设计，提高其在不同转速下的转换效率。飞轮储能技术的实现则需选用高强度、低惯量的材料，并优化飞轮的动力学设计，确保其在高速旋转下的稳定性。液压储能技术的实现则需优化液压系统的设计，提高其储能和释放效率。

储能装置的设计需综合考虑储能容量、充放电效率和寿命等因素。电池的选择需考虑其充放电特性、循环寿命和安全性，超级电容器的选择则需考虑其功率密度和储能容量。液压蓄能器的设计则需优化其结构和材料，提高其在高压环境下的可靠性。

控制系统是实现系统能量管理智能化的关键。通过先进的控制算法，如模糊控制、神经网络控制等，可以实现对能量转换和储存过程的精准控制，提高系统的整体效率。传感器的选择需考虑其测量精度和响应速度，控制器的选择则需考虑其计算能力和可靠性。

综上所述，电梯机电系统的机械能回收与再利用技术通过合理设计各功能模块，优化关键技术实现方法，可以有效提高系统的能源利用效率，降低建筑能耗，具有重要的应用价值和推广前景。

4 实验与仿真分析

4.1 实验设计及设备选择

为验证电梯机电系统机械能回收与再利用技术的性能和可靠性，实验设计需明确研究目标和测试指标，包括能量转换效率、储能装置充放电性能、系统稳定性与安全性等。实验设备主要包括电梯模拟装置、能量转换装置、储能装置、控制系统及相关传感器。电梯模拟装置用于模拟实际运行状态，提供稳定实验环境；能量转换装置采用高效发电机，基于电磁感应原理实现机械能向电能转换；储能装置选用超级电容器，因其充放电速度快、寿命长，适合高功率短时储能；控制系统采用PLC，具备实时控制与数据处理能力，确保各模块协调工作；传感器包括速度、电流和电压传感器，用于实时监测系统运行状态。

4.2 实验过程及数据采集

实验分为准备、运行和数据采集三个阶段。准备阶段对设备进行调试校准，确保正常运行；运行阶段模拟电梯启动、加速、匀速、减速和停止全过程，记录各阶段能量转换与储存情况；数据采集阶段通过传感器实时获取运行速度、电流、电压等数据，并由控制系统存储分析。具体步骤如下：启动电梯模拟装置，设定不同载重和速度工况；启动能量转换装置，记录发电机在不同工况下的输出电流和电压；启动储能装置，记录超级电容器的充放电时间及储能效率；最后通过控制系统处理分析数据，生成实验报告。

4.3 仿真模型的建立与验证

为全面评估系统性能，基于MATLAB/Simulink平台建立仿真模型，包括电梯模型、能量转换模型、储能模型和控制系统模型。电梯模型模拟实际运行状态，能量转换模型基于电磁感应原理，储能模型模拟超级电容器充放电特性，控制系统模型实现模块协同控制。模型验

证通过对比仿真结果与实验数据进行。设定相同运行工况，运行仿真并记录能量转换与储存数据，与实验数据对比分析模型准确性。通过多次仿真实验，确保模型在不同条件下均能准确反映系统性能。

4.4 实验结果与分析

实验结果显示，系统可有效回收电梯制动产生的机械能，实现高效储存与再利用。能量转换装置在电梯减速阶段稳定输出电能，转换效率达85%以上；储能装置表现良好，充电时间短、放电效率高，超级电容器储能效率超过90%。数据分析表明系统稳定性强，各模块协同工作，未出现明显能耗或安全隐患。控制系统可根据电梯运行状态动态调整策略，优化能量管理。同时发现，储能装置性能对整体效率影响显著，超级电容器选型需进一步优化以提升其在不同工况下的适应性。

4.5 应用前景与经济效益分析

电梯作为现代建筑中的关键垂直运输工具，其运行过程蕴含着巨大的机械能回收潜力。通过引入高效能量转换装置和储能装置，可将电梯制动及下行过程中产生的机械能转化为电能储存起来，实现能量再利用。这不仅提升了电梯系统的整体能效，也降低了建筑物的能耗，符合绿色建筑的发展理念。

从经济效益来看，机械能回收技术能够显著减少电梯运行成本。实验数据显示，能量转换效率超过85%，储能效率达90%以上，表明大量机械能被有效回收并再利用。以一座高层建筑为例，若电梯每日运行100次，每次回收约10千瓦时电能，则每天可节省1000千瓦时电量。按照商业用电价格估算，每年可节省数十万元电费。尽管初期设备购置与安装费用较高，但节能带来的经济效益使得成本通常在3至5年内即可回收，并具有较高的投资回报率。

社会与环境效益方面，该技术同样意义重大。减少电能消耗有助于缓解电力供应压力，在用电高峰期降低电网负荷，增强电力系统稳定性。此外，减少能源消耗直接导致温室气体排放量下降，对改善大气环境、应对气候变化产生积极影响。推广此技术还能提高公众节能环保意识，促进社会向低碳、绿色方向发展。

综上所述，电梯机电系统中的机械能回收与再利用技术不仅在经济效益方面表现出色，还带来了显著的社

会与环境效益，展现出广阔的应用前景和推广价值。这一技术为提升建筑能效、节约资源、保护环境提供了强有力的支持，预示着未来在更多领域得到广泛应用的可能性。

5 结论与展望

本研究深入探讨了电梯机电系统的机械能回收与再利用技术，取得了多项成果：设计并验证了基于电磁感应、飞轮储能和液压储能的能量回收系统，转换效率达85%以上，储能效率超90%；优化了能量转换与储能装置结构，提升了系统稳定性；并通过先进控制算法实现模块协调控制，提高整体能效。

研究仍存在不足：储能装置在高功率下效率波动，需优化介质设计；能量转换装置在低转速下效率偏低，需改进发电机结构；系统初期成本较高，限制推广应用，需探索降本路径。

未来方向包括：研发新型能量转换材料与储能介质，提升效率；引入大数据与人工智能优化能量管理；加强与建筑节能、智能电网等领域融合，推动绿色技术发展。

参考文献

- [1] 鞠延鹏, 尹振红. 基于PLC电梯控制系统的设计[J]. 吉林工程技术师范学院学报, 2020, 36(11): 120-122.
- [2] 胡学武. 试论PLC电梯系统的机电一体化技术[J]. 科技风, 2019, (09): 128. DOI: 10.19392/j.cnki.1671-7341.201909110.
- [3] 贾鹏鹤, 张鑫. 现代建筑施工中绿色施工技术的应用研究[J]. 建设机械技术与管理, 2025, 38(03): 155-156. DOI: 10.13824/j.cnki.cmtm.2025.03.057.
- [4] 杨艳, 姜仁贵, 王瑛琢, 等. 基于系统动力学的装配式建筑减排效应仿真研究[J/OL]. 工程管理学报, 1-7 [2025-06-26]. <https://doi.org/10.13991/j.cnki.jem.2025.03.003>.
- [5] 詹晓璐. 电梯节能改造与商务楼宇运营的节能减排——商务楼宇物业管理项目的热点探索[J]. 上海商业, 2025, (04): 234-237.

作者简介：蒋蕙宇，1999年12月，女，壮族，广西全州，广西曦捷楼宇机电工程有限公司，大学本科，助理工程师，机电。