

## 建筑电气节能中变频电梯回馈电能利用效率实测研究

武海天

建拓房地产开发有限公司，河北 石家庄 050000

[摘要]随着高层建筑以及大型公共建筑数量的增多，电梯能耗在建筑总能耗当中所占的比例呈现出逐渐增大的态势。传统定速电梯在实施制动操作的时候，会有大量的能量以热能的形式白白损耗掉，造成了极为严重的浪费情况。变频电梯能够把制动过程中产生的能量回馈至建筑用电系统或者电网，如此一来便可以在一定程度上节约能源。不过实际上的回馈效率会受到运行工况、系统设计以及建筑负荷等多种因素的影响，所以存在着相当大的差异，依旧有一部分能量处于被浪费的状态。当下针对变频电梯回馈电能展开的实测研究还不够完备，有必要借助现场测试来对其利用效率加以分析，并且提出相应的优化对策，以此提升建筑能源的利用率以及节能效果。

[关键词]建筑电气节能；变频电梯；电能利用效率；实测

DOI: 10.33142/hst.v8i11.18302 中图分类号: TU399 文献标识码: A

## Experimental Study on the Feedback Energy Utilization Efficiency of Variable Frequency Elevators in Building Electrical Energy Conservation

WU Haitian

Jiantuo Real Estate Development Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** With the increasing number of high-rise buildings and large public buildings, the proportion of elevator energy consumption in the total building energy consumption is gradually increasing. During the braking operation of traditional fixed speed elevators, a large amount of energy is wasted in the form of thermal energy, resulting in extremely serious waste. Variable frequency elevators can feed back the energy generated during the braking process to the building's electrical system or grid, which can save energy to a certain extent. However, the actual feedback efficiency is affected by various factors such as operating conditions, system design, and building loads, so there are significant differences, and there is still a portion of energy that is wasted. At present, the actual research on the feedback of electric energy from variable frequency elevators is not yet complete. It is necessary to use on-site testing to analyze its utilization efficiency and propose corresponding optimization measures to improve the utilization rate and energy-saving effect of building energy.

**Keywords:** building electrical energy conservation; variable frequency elevator; electricity utilization efficiency; actual measurement

### 引言

随着城市化推进，高层建筑和大型公共建筑越来越多，电梯成了建筑能耗的重要部分。传统定速电梯运行时，制动能量大多变成热能浪费掉，能量回收效率很低，增加了建筑运行成本，还限制了建筑节能水平提高。近些年，变频调速电梯因能平稳启停、节能运行且能把电能回馈而备受关注，其回馈的能量可以直接反馈到建筑供电系统或电网，减少建筑整体能耗，提高能源利用效率。不过，变频电梯虽有回馈功能，但实际能量利用效率受电梯运行情况、系统设计、负荷匹配和电网适配等多种因素影响，不同建筑里实际回馈能量的有效利用率差别大，这也是当下节能

研究的关键问题之一。针对这种情况，开展变频电梯回馈电能利用效率的实测研究，既能获取真实运行数据，又能揭示回馈能量的动态特性及影响因素，还能为建筑节能设计、电梯系统优化以及能源管理提供科学依据。本文通过现场实测典型变频电梯，分析回馈电能利用效率的实际表现，结合系统设计优化、电能协调利用以及智能控制等策略，提出提高回馈能量利用效率的可行办法，期望能为建筑电气节能和绿色建筑发展提供参考与指导。

### 1 电梯在建筑能耗中的特点

电梯作为建筑能耗的重要组成部分，具有耗能占比高、影响因素复杂、节能技术显著和经济效益突出的特点。在

商业建筑中，电梯能耗可占总能耗的 15%~25%，传统电梯在空载运行和制动过程中存在较大能量浪费，其能耗与楼层高度、使用频率、驱动方式及运行策略密切相关。现代电梯通过变频调速、能量回馈、智能调度及待机休眠等技术，不仅可将节电率提高 20%~35%，降低能耗，还能延长设备寿命、降低维护成本，实现显著的经济与节能效益。

## 2 变频电梯回馈电能利用效率实测方法

### 2.1 实测对象与测试条件

实测对象是多台颇具代表性的变频曳引电梯，这些电梯涵盖不同额定载重情况，像乘客电梯和货梯都有涉及，还有不同的额定速度以及驱动类型，比如永磁同步电机所配的 VVVF 驱动以及交流异步电机所配的驱动等。并且从不同类型的建筑里选取样本，像住宅、办公楼、商场等等，以此来确保数据能够适用于实际工程。测试条件包含：在电梯正常运转的状况下去开展现场监测，与此同时安排受控试验，像是空载、额定载荷、满载上下行、频繁启停这类典型工况，方便比较回馈能量在不同工况之下的表现情况。电网接入条件按照建筑供电的实际情形来记录，比如常见的三相市电 380V/50Hz 或者具体的现场电压等级，而且要注明是否存在并网回馈限制或者制动电阻的工作状态。为了保证数据的可靠性，实测周期得涵盖典型的用能时段，这里面包含高峰、低谷、工作日以及周末，还建议连续监测直至达成有代表性的样本量，比如至少数日到一周，或者能够覆盖若干百次上下行循环，与此同时还要记录环境参数，像温度、湿度，以及电梯的维护状态。所有的测量设备，像有功/无功电能表、电压电流传感器、功率分析仪、控制信号记录器等等，在投入使用之前都得经过溯源校准，并且设定适宜的采样频率去捕捉瞬态与稳态能量流，能量计量建议采用秒级或者更高的采样频率，电能质量与瞬态事件则依据测试需求采用更高的采样率。

### 2.2 测试设备与数据采集系统

在实际开展测试工作的过程当中，测试设备以及数据采集系统的具体选型情况和布置方式，会直接对最终所得到的结果的准确性以及可比性产生影响，所以需要全面且细致地去考量电梯的运行特性以及能量回馈的具体路径。在电气这一侧，要配备高精度的三相功率分析仪，同时还要有那种具备双向计量功能的电能表，它们的主要作用是能够实时且动态地监测电梯驱动系统所输入的功率、回馈的功率，还有电能质量相关的各项指标，像是谐波含量、功率因数、电压波动等等这些，而且其精度等级必须要达到或者超过 0.2 级，这样才能充分满足科研测试的相关要求。电流、电压传感器的选用上，可以采取将互感器和霍

尔传感器相互结合起来的方式，以此来确保既能够对高频瞬态波动予以全面覆盖，又能够在稳态数据的长期稳定采集方面给予有效保障；在机械这一侧，可以同步去布置加速度计以及位移传感器，它们的作用是用来记录电梯的实际运行状态以及负载所发生的各种变化，进而方便后续针对能量回馈以及运行工况展开对应的分析工作。就数据采集系统而言，应当采用具备多通道同步采样记录功能的装置，而且要借助高性能的数据采集卡来达成毫秒级别的采样效果，从而切实保证不同类型信号之间在时间上能够精准对齐；采集系统还必须具备大容量的存储能力以及远程通信的相关功能，如此一来才能够很好地实现长周期数据的存档工作以及在线的实时监控需求。为了尽可能地减少外界干扰以及由此产生的误差，测试设备在接线的时候一定要严格遵循电气安全方面的各项规范要求，并且要通过采取屏蔽、接地等一系列举措来有效地降低电磁干扰的影响，与此在采集系统当中还需要设置数据滤波以及异常检测等功能，这样才能够避免因为突发的干扰情况或者是误操作行为而导致数据出现失真的状况。

### 2.3 测试指标与计算方法

在针对变频电梯回馈电能利用效率展开的实测研究当中，测试指标与计算方法的确定无疑属于评价结果科学性的关键环节所在。其主要涉及的测试指标涵盖了：电梯运行期间的总耗电量、回馈电能的总量、回馈电能在整体中的占比情况、回馈电能的利用率以及电能质量方面的各项指标（比如电压谐波总畸变率 THD、电流畸变率、电压波动的幅值、功率因数等等）。在这当中，回馈电能利用率堪称是核心的评价指标，它的作用在于能够反映出回馈能量实际被建筑用电系统所吸收利用的具体程度。通常而言，其具体的计算方法是： $\eta = E_{\text{回馈}} / E_{\text{总}} \times 100\%$ ，在这里， $E_{\text{回馈}}$ 指的是在一定周期之内回馈到电网或者建筑配电系统的有效电能，而  $E_{\text{总}}$  则是指电梯在相同周期之内的总耗电量。当需要对不同工况下效率的变化情况进行进一步分析的时候，就可以按照不同的工况来进行相应的计算操作，并且相互之间加以对比<sup>[1]</sup>。除此之外，为了确保最终结果具备足够的严谨性，还需要针对回馈能量的瞬时波动实施积分计算，进而获取更为精确的能量数据，并且要结合采样频率以及数据滤波方法来尽可能地减少随机误差的存在。

### 2.4 实测过程与数据记录方式

在实际开展测试期间，一开始得依照预先制定的测试方案来对电梯的运行工况予以分类并做出相应安排，这里涵盖空载、额定载荷、半载、频繁启停以及长时间连续运

行等诸多典型状况,如此一来便能够完整呈现出回馈电能在不同运行模式之下的具体特性。在正式测试尚未开始之前,要针对功率分析仪、电能表、传感器以及数据采集系统展开统一的校准操作与调试工作,以此来保障信号具备良好的同步性并且测量精度也能得以确保。当正式进入测试阶段之时,借助多通道采集系统可实时对电压、电流、有功功率、无功功率、谐波含量、能量累计值等一系列电气参数加以记录,与此同时还要同步记录下电梯运行状态方面的信号,像是速度、加速度、楼层位置还有载荷情况等等,从而达成工况与电能数据之间的一一对应关系。数据记录的方式是将高频率连续采样和周期性存档这两种方式相互结合起来运用,这样既能把瞬态变化的特征给捕捉到,又能保证后续长期趋势分析所具备的完整性;所有的数据都应当以时间戳的形式来进行标记,并且将其保存成统一格式的文件,比如 CSV 或者数据库形式,方便在后期能够开展统计以及对比分析相关工作<sup>[2]</sup>。为了防止出现数据丢失或者失真的情况,在实际测试的过程中就需要配备在线监控与报警机制,通过对采集系统的运行状态实施实时的检查操作,并且定期去做数据备份事宜。

### 3 提高变频电梯回馈能量利用效率的优化对策

#### 3.1 系统设计优化措施

在提升变频电梯回馈能量利用效率这一进程里,系统设计优化属于基础性的环节,它的核心目的在于从电梯驱动系统、电能回馈单元以及建筑电网接口这三个层面达成整体能效的提升。一开始,在驱动系统设计方面,应当选用效能较高的永磁同步电机以及先进的矢量控制技术,以此来降低能量转换过程中出现的损耗,借助合理的容量匹配方式来防止因过度设计而引发的效率下滑情况;接着,在回馈单元设计环节,需要采用高效的逆变器以及双向能量变换装置,确保电能可以平稳且可靠地回馈到电网或者建筑内部的负载之上,与此凭借模块化设计来提升系统的灵活性以及维护的便利程度;在电网接口设计方面,得充分考量建筑配电系统的负荷特性,合理规划回馈功率的并网控制策略,避免回馈电能和电网波动之间产生冲突,而且在必要的情形下要配置储能装置,从而实现削峰填谷以及能量平衡的目的。

#### 3.2 电能回馈与建筑综合用能的协调利用

在电能回馈以及建筑综合用能的协同利用这一层面,要充分挖掘电梯运行时所产生回馈电能在建筑内部的再利用价值,促使它与建筑里的其它电气设备达成能量互补以及动态平衡的状态。具体来讲,电梯回馈出来的电能可优先供给楼宇里面的公共负荷,像是照明系统、通风空调

设备、水泵还有监控系统等等,借此达成能量的就地消纳,降低对电网的冲击,在负荷波动幅度比较大的场所,能够通过配置储能电池或者超级电容器的方式,把回馈能量先存储起来然后再释放出去,用于高峰时段的能量补充,以此提高整体用能的稳定程度以及经济收益<sup>[3]</sup>。与此需要构建起建筑能耗管理系统,针对电梯回馈电能的实时输出情况以及建筑各个用能单元的需求展开监测与调度工作,实现能量在不同设备之间的最优化分配。

#### 3.3 电能质量改善与电网适配措施

在电能质量改善以及与电网适配事宜上,要先针对变频电梯回馈电能里或许存在的高次谐波、电压出现波动还有瞬态干扰等状况,去采取行之有效的滤波举措以及功率调节办法,以此来保障回馈电能具备一定的纯净度并且保持稳定状态,从而避免给建筑内部的其他电气设备以及外部电网带来负面影响。具体来讲,可以在回馈单元或者建筑配电端去安装有源滤波器或者无源滤波器,另外还有动态无功补偿装置以及电压稳压器,通过这些手段来抑制谐波,提升功率因数,并且降低电压波动的幅度;与此借助智能控制策略对回馈功率展开动态调节操作,让其能够在不同负荷的情形下较为平滑地接入建筑电网,防止出现过载或者反向冲击的情况。对于与公共电网相连接的接口部分,依照当地的电网接入规范以及相关标准来设计保护与控制方面的策略,像是设定过电压保护以及过电流保护,还有断路器和隔离装置之间的协调配合,进而确保回馈电能能够安全并且可靠地实现并网,或者是供给给建筑内部的负荷使用。

#### 3.4 智能控制与未来发展方向

就智能控制以及未来的发展走向来讲,伴随建筑智能化以及能源管理技术不断向前发展,变频电梯回馈电能的利用效率能够凭借先进的控制算法以及信息化平台获得较为明显的提升。通过引入那种基于人工智能、大数据分析还有物联网技术的智能调度系统,可以对电梯运行的状态、建筑负荷的需求以及电网的条件展开实时的监测,进而达成回馈电能的动态分配以及优化调度,如此一来便能够在确保电梯安全运行的基础之上将能量利用最大化地发挥出来。除此之外,未来的发展方向还涵盖回馈电能与建筑储能系统、可再生能源(比如光伏、风能)以及电动车充电设施的协同集成,以此来构建起建筑能源的多源互补以及智能互联模式,从而进一步促使整体能效以及可持续性得以提升。与此智能控制系统能够实现远程的监控、故障的诊断以及自适应的优化,进而为运维管理给予数据方面的支撑以及决策方面的依据。

#### 4 结语

经对典型变频电梯展开现场实测研究后发现,能够清楚地知晓回馈电能在实际运行期间的利用效率以及影响其的各种因素。相关研究显示,电梯回馈能量能否有效利用会受到系统设计情况、与电网的适配程度、建筑负荷状况以及运行工况等诸多方面的影响。若把系统优化设计、电能协调利用以及智能控制等相关措施综合起来运用,那么就能让回馈电能的利用率得以大幅提升,进而降低建筑的整体能耗,达成节能的目的。此项研究给变频电梯在建筑节能方面的应用给予了数据方面的有力支撑以及实践层面的可靠依据,与此也为绿色建筑设计、建筑能效管理

还有智能化能源调度等方面提供了相应的参考,具备一定的推广价值以及应用的前景。

#### [参考文献]

- [1]靳韶利.PLC 控制变频调速电梯电气控制系统[J].电子元器件与信息技术,2019,3(8):23-26.
- [2]余国兆,熊瑛.PLC 控制变频调速电梯电气控制系统分析[J].通信电源技术,2018,35(5):134-135.
- [3]乔世行.施工电梯变频调速系统在提升效率和节能方面的应用[J].装备维修技术,2024(4):52-53.

作者简介: 武海天 (1992.5—), 男, 汉族, 毕业学校: 华北电力大学, 现工作单位: 建拓房地产开发有限公司。