

光伏幕墙与储能系统协同运行的建筑能源智能管理策略

谢容成¹ 卢晓燕² 徐波¹

1. 众置建工集团有限公司 四川成都 610000

2. 四川省众置绿色低碳节能科技有限公司 四川成都 610000

摘要: 本文聚焦光伏幕墙与储能系统协同运行的建筑能源管理策略。光伏幕墙凭借将太阳能转化为电能的功能,兼具建筑装饰、围护与发电特性,而储能系统可储存多余电能,弥补光伏发电的间歇性与波动性。二者协同运行,通过实时监测、动态调整能量流,能提升能源利用效率、增强系统稳定性。在此基础上,提出需求侧管理、分层优化、多目标优化等建筑能源管理策略,旨在降低建筑能耗与碳排放,推动建筑领域绿色可持续发展。

关键词: 光伏幕墙; 储能系统; 协同运行; 建筑能源智能管理; 需求侧管理

引言

在世界范围内能源危机和环境问题不断加剧的今天,建筑行业是能源消耗的大户,对能源利用方式进行改革刻不容缓。传统建筑能源模式对化石能源依赖性较强,既造成了能源浪费又带来了严重环境污染。光伏幕墙的产生给建筑装饰行业带来了新的机遇,其特性是可以把太阳能变成电能,将建筑从耗能变成了产能。但是光伏发电受到天气,时间的影响具有间歇性与不稳定性特点。储能系统的提出正好弥补了这一不足,可以在电能过剩的情况下存储能量,并在需求高峰时刻进行释放。光伏幕墙和储能系统协同工作,达到能源高效利用和灵活调配。探索两者协同运作的建筑能源管理策略对提高建筑能源利用效率,减少碳排放,促进建筑行业绿色可持续发展有着十分重要的意义。

一、光伏幕墙与储能系统的技术基础

1. 光伏幕墙的原理与特点

光伏幕墙的原理基于光伏效应,当太阳光照射到光伏幕墙表面的光伏电池上时,光子会与电池中的半导体材料发生相互作用,激发电子使其产生定向移动,进而形成电流,实现将太阳能转化为电能的过程。这一特性使得光伏幕墙具备了发电功能,为建筑提供了清洁、可再生的能源来源。

光伏幕墙有着诸多显著特点。它集发电与建筑幕墙功能于一体,既有着传统幕墙的装饰效果,能提升建筑外观美感,又具备防护作用,可保护建筑内部结构。而且,在发电过程中不产生温室气体排放,对环境友好,有助于降低建筑的碳足迹。同时,光伏幕墙使用寿命长,

在长期使用过程中能持续稳定地发电,减少了对传统能源的依赖,为建筑节省了大量的能源成本,展现出良好的经济性与环保性。

2. 储能系统的技术与分类

储能系统是能源存储和释放过程中的关键技术之一,技术种类繁多,特点鲜明。电化学储能技术是利用化学反应将电能和化学能相互转换,例如锂离子电池和钠硫电池,其能量密度大,循环寿命长。机械储能技术是基于物理原理来存储能量的,例如抽水蓄能和飞轮储能等,这些技术在大型储能场景中都能起到关键的作用。除此之外,还存在如超导储能和超级电容储能等电磁储能技术,这些技术以其高速和高效的电能储存与释放能力为显著优点。这些储能技术按储能介质及工作原理分为若干类,它们分别在能量密度,功率密度,循环寿命及响应速度上表现出特有的性能优势,并共同组成储能系统多元化的技术模式。

3. 光伏幕墙与储能系统的协同性分析

对光伏幕墙和储能系统进行协同性分析,是了解它们在建筑能源管理方面潜力大小的关键所在。光伏幕墙是清洁能源收集装置之一,输出功率受到光照强度,天气条件及时间的影响而呈现间歇性与波动性。并且储能系统可以有效地调节能源供需不平衡状态,通过将多余电量进行存储和必要时进行释放来补偿光伏幕墙不连续发电。

二者的协同性主要表现在几个层次上:在技术上,光伏幕墙向储能系统供给可再生能源投入,储能系统向光伏幕墙供给能量调节,构成动态平衡能源系统;在功能层面上,将光伏幕墙和储能系统相结合,既可以增强

建筑能源自给能力又可以减少对传统电网依赖性，提高能源利用效率。另外储能系统可通过调整功率输出来减轻电网负荷压力并进一步提高建筑能源系统运行灵活性与稳定性。这种协同性既表现为能源流优化，也表现为响应建筑总体能源需求能力。比如，白天光照较强时，光伏幕墙会把多余能量储存到储能系统内，到了晚上或者多雨时，储能系统就会把所储存能量释放出来，以满足建筑物连续用电。通过该协同操作，光伏幕墙和储能系统可以在减少碳排放和促进绿色建筑发展的前提下，达到高效利用能源和减少浪费的目的。但光伏幕墙和储能系统协同性同样面临着若干挑战，如储能系统造价昂贵，循环寿命受限，光伏幕墙发电效率受到环境条件的影响。因此进一步优化二者协同机制、探索更为有效的储能技术以及更为廉价的储能方案将成为今后研究的主要方向。

二、光伏幕墙与储能系统协同运行的机制

1. 协同运行的定义与目标

协同运行就是建筑能源体系内光伏幕墙和储能系统之间互相配合，有机衔接的运行方式。该模型中光伏幕墙承担着接收太阳能向电能转换的任务，储能系统根据建筑物实时用电需要和光伏发电状态灵活存储和释放电能。

目的是使建筑能源得到有效利用和优化配置。一方面通过协同运行可以使太阳能这一清洁能源得到最大限度的利用，降低对传统化石能源依赖，进而减少建筑能源消耗及运营成本。另一方面储能系统能够均衡光伏发电间歇性与波动性，确保建筑用电稳定可靠，避免光照变化造成电力供应不充分或者过剩。另外，协同运行有利于提高建筑能源系统整体性能和加强建筑与电网友好程度，降低建筑对电网影响，促进传统建筑朝着绿色、低碳节能和可持续方向发展。

2. 能量流优化

能量流优化是光伏幕墙和储能系统协同工作的关键，关系到能源利用效率和稳定。通过对光伏幕墙发电功率进行实时监控，可以准确把握太阳能向电能转换的动态变化，并结合建筑负荷需求进行详细分析，可以清楚地了解到建筑物在各个时期的用电情况。在先进天气预报技术的帮助下，事先预知光照强度及时长变化情况，然后对未来光伏发电量做出预报。

根据这些实时数据和预测信息对储能系统充放电策略进行动态调整就成了重点。当光照和发电量较大时，储能系统将多余的电能及时存储起来，避免浪费能源；

并且当光照不足或者建筑物用电高峰的情况下，储能系统快速放电以满足建筑物用电的需要，确保供电的稳定性。另外，储能系统充放电时间可以根据电网电价政策灵活安排以达到峰谷套利和减少用电成本。通过该系列能量流优化措施可以实现光伏幕墙和储能系统之间更高效，更智能的协同运行，增强建筑能源系统整体性能。

3. 协同运行的优缺点分析

协同运行的光伏幕墙与储能系统有着显著优势，但也存在一定缺点。从优点来看，其能大幅提升能源利用效率，光伏幕墙将太阳能转化为电能，储能系统有效储存和释放电能，让建筑在不同时段都能充分利用清洁能源，减少对传统能源的依赖，降低能源成本。而且，储能系统平衡了光伏发电的间歇性和波动性，保障了建筑用电的稳定性和可靠性，提升了建筑能源系统的整体性能。此外，协同运行有助于减少碳排放，对环境保护和可持续发展意义重大。

然而，它也存在一些缺点。储能系统的成本较高，无论是设备购置还是安装维护，都需要大量资金投入，这增加了项目的初期成本和经济压力。同时，储能系统的寿命和性能受多种因素影响，如充放电次数、环境温度等，需要定期维护和更换，进一步增加了运营成本。并且，目前相关技术还在不断发展中，系统的稳定性和可靠性仍有待提高，在实际应用中可能会面临一些技术挑战。

三、建筑能源管理策略

1. 需求侧管理（DSM）策略

需求侧管理（DSM）战略是通过对用户端的能源需求进行调节与优化来达到能源高效利用与供需平衡目的的智慧战略。在光伏幕墙和储能系统共同工作的建筑能源结构中，DSM策略的重要性不言而喻。它不只注重能源利用效率的提高，而是注重通过市场机制，政策引导以及技术创新等手段来调动用户积极参与能源管理。

DSM策略促使用户在用电需求低谷时段加大用电量，例如使用储能系统存储的电能用于夜间充电或者预热等，高峰时段通过调节用电行为或者使用储能系统放电降低电网负荷等。这一灵活需求响应机制既有利于均衡电网供需又可以减少用户用电成本和提高电力系统运行效率。

与此同时，DSM策略也关注提高能源效率问题。通过普及高效的节能工具和技术，我们鼓励用户采纳更为节能的生活习惯，例如利用智能家用电器和改进照明系统，从而进一步降低能源的使用。另外，DSM策略强调

使用可再生能源，并鼓励使用者安装光伏系统及其他可再生能源设施以自给自足及绿色转型能源。

但是，DSM策略在实施过程中也遇到了许多挑战。怎样保证用户主动参与与合作、怎样建立合理激励机制、怎样克服技术障碍、降低成本是急需解决的课题。但是也是这些挑战促使我们去不断地探索、去不断创新，用更聪明、更有效的方法来管理能源需求、促进建筑能源体系绿色、可持续发展。

2. 分层优化策略

分层优化策略是建筑能源管理中的核心方法之一，其本质是通过多层次、多维度的协调与优化，实现能源资源的高效配置和使用。在光伏幕墙与储能系统协同运行的背景下，分层优化策略能够从建筑内部到外部环境的不同层面入手，全面考虑能源供需关系，从而提升整体能源利用效率。具体而言，该策略首先关注建筑内部的能源系统，通过智能控制和实时监测，优化光伏幕墙的发电效率和储能系统的充放电管理，确保建筑内部能源的自给自足与平衡。在建筑内部优化的基础上，分层优化策略进一步扩展到建筑所在的社区或区域层面，通过整合区域内其他可再生能源设施（如风能、地热能等）和储能资源，实现能源的共享与互补。例如，社区内的光伏幕墙系统可以将多余的电量存储在集中式储能设施中，供区域内其他建筑或用户使用，从而减少对传统电网的依赖。与此同时，分层优化策略还能够与城市级的能源管理系统相结合，通过城市电网的动态调节和优化，实现更大范围内的能源供需平衡。这种多层次的优化不仅能够提高能源系统的可靠性和稳定性，还能够降低能源浪费和碳排放，推动绿色建筑的发展。通过分层优化策略，光伏幕墙与储能系统的协同运行能力得到了显著提升，为建筑能源管理提供了更加灵活和高效的解决方案。

3. 多目标优化策略

多目标优化策略在光伏幕墙与储能系统协同运行的建筑能源管理中，旨在平衡能源效率、经济性、环境效益及系统可靠性等多元目标的动态均衡，其核心在于通过数学建模与算法设计，解决相互制约甚至冲突的目标间的协同关系。例如，光伏幕墙发电最大化可能伴随储能系统过载风险，而降低储能成本可能牺牲能源调度的灵活性，因此需构建涵盖发电效率、储能寿命、碳排放强度、用户舒适度等多维参数的优化模型，采用帕累托前沿理论或模糊逻辑算法，在非支配解集中寻求最优折

衷方案。实践中，该策略需结合实时电价机制、天气预测数据及用户用电行为特征，动态调整储能充放电阈值与光伏逆变器功率输出，例如在光照充足且电价低谷期优先存储冗余电能，而在电网负荷高峰或电价峰值时段释放储能，既降低建筑能源成本，又缓解电网压力。此外，环境目标通过量化二氧化碳减排量嵌入模型，确保系统在追求经济效益时仍满足碳中和约束。然而，多目标优化的复杂性在于目标权重的动态适配性——不同季节、政策导向或用户偏好可能改变优化优先级，需引入自适应算法（如强化学习）实时修正目标函数参数。这一策略的最终价值在于突破单一维度优化的局限性，通过多维协同实现建筑能源系统的整体可持续性，既保障技术可行性，又兼顾社会效益与生态责任的长期统一。

结论

光伏幕墙与储能系统协同运行结合需求侧管理策略，为建筑能源领域带来了变革性影响。这种协同模式有效提升了能源利用效率，让建筑在不同时段都能稳定使用清洁能源，减少了对传统能源的依赖，降低了碳排放。需求侧管理策略进一步增强了能源供需的平衡性，通过引导用户合理用电，提高了电力系统的运行效率，降低了用户用电成本。尽管在实际应用中，还面临着储能成本高、技术有待完善等挑战，但随着技术的不断进步和政策的持续支持，这些问题将逐步得到解决。未来，这一协同模式有望成为建筑能源发展的主流趋势，推动建筑行业向绿色、低碳、可持续方向大步迈进，为实现全球能源转型和应对气候变化目标贡献重要力量。

参考文献

- [1] 冯国会, 梁栋, 王禹涵. 中德节能示范中心光伏幕墙双源热泵系统+相变储能水箱运行方案设计及可行性分析[C]//2016年第三届全国被动式超低能耗建筑大会.; 中国被动式超低能耗绿色建筑联盟, 2016.
- [2] 陈勇军. 光伏幕墙发电项目的可行性探讨和系统设计[J]. 建材世界, 2023, 44(2): 40-43.
- [3] 张丽壮. 新型玻璃幕墙系统对室内热负荷的影响研究[D]. 内蒙古工业大学 [2025-04-16].
- [4] 胡红星. 绿色建筑电气节能设计路径研究[J]. 2024(3): 57-59.
- [5] 邹颖. 绿色建筑并网型光伏发电系统设计[D]. 湖北工业大学, 2013.