

光伏技术在建筑采暖空调 0 能耗系统中的应用探索

吴晨光

新疆维泰开发建设(集团)股份有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

【摘要】：在“双碳”目标推进与建筑能耗管控日益严格的背景下，建筑采暖空调系统作为建筑能耗的主要载体，其节能化、低碳化升级成为实现建筑 0 能耗目标的核心突破口。光伏技术作为清洁、可再生能源利用的核心技术，凭借其可与建筑有机融合、能源供应稳定且环保的优势，为建筑采暖空调 0 能耗系统的落地提供了可行路径。本文分析光伏技术在建筑采暖空调 0 能耗系统中的应用形式、现有成果，提出针对性优化策略，为光伏技术与建筑采暖空调 0 能耗系统的深度融合提供理论参考。

【关键词】：光伏技术；建筑采暖空调；0 能耗系统；应用研究

DOI:10.12417/2811-0536.26.07.070

引言

随着全球能源危机加剧与生态环境问题日益突出，节能减排已成为各行各业发展的核心导向，光伏技术作为可再生能源利用的重要手段，通过光电转换将太阳能转化为电能，具有清洁无污染、可再生、分布广泛等优势，且可与建筑立面、屋顶等部位有机融合，实现“建筑即发电”的目标。将光伏技术与建筑采暖空调系统相结合，构建 0 能耗采暖空调系统，可实现建筑采暖空调能源的自给自足，大幅降低传统化石能源消耗，减少碳排放，同时缓解电网供电压力，对推动建筑领域低碳转型、实现能源可持续发展具有重要意义。

1 光伏技术在建筑采暖空调 0 能耗系统中的应用形式与现有成果

1.1 主要应用形式

(1) 光伏供电式采暖空调系统。光伏供电式采暖空调系统是最基础、最广泛的应用形式，其核心是通过光伏组件产生的电能，直接为建筑采暖空调设备供电，实现采暖空调系统的电力自给，结合储能系统与智能调度技术，保障系统稳定运行。

(2) 光伏光热协同式采暖空调系统。光伏光热协同式采暖空调系统基于 PV/T 技术，实现“光电+光热”的协同利用，光伏组件产生的电能为采暖空调设备供电，收集的光伏余热用于建筑采暖或生活热水供应，大幅提升太阳能的综合利用效率，适用于北方寒冷地区或对生活热水需求较大的建筑。

(3) 光伏储能一体化采暖空调系统。光伏储能一体化采暖空调系统是针对光伏出力波动性问题设计的高端应用形式，将光伏组件、储能设备、智能控制系统与采暖空调设备深度融合，实现光伏出力的实时监测、储能的智能充放电与采暖空调设备的精准调控，

确保系统在任何时段都能实现能源自给。

1.2 应用成果

近年来，随着光伏技术与建筑节能技术的不断发展，光伏技术在建筑采暖空调 0 能耗系统中的应用取得了显著的技术成果。在光伏组件方面，高效晶硅光伏组件的转换效率已提升至 25% 以上，薄膜光伏组件的柔韧性与美观性不断优化，更适合建筑一体化应用。PV/T 技术的综合利用效率不断提升，部分新型 PV/T 组件的光电转换效率可达 17% 以上，光热转换效率可达 55% 以上，总效率超过 70%。

PV/T 组件的光电转换效率、光热转换效率及综合能源利用效率为衡量其性能的核心指标，计算公式如下：

(1) 光电转换效率

$$\eta_{el} = \frac{P_{el}}{A \times G}$$

式中： η_{el} —PV/T 组件光电转换效率(%)； P_{el} —PV/T 组件输出电功率(W)； A —PV/T 组件有效采光面积(m^2)； G —太阳辐照度(W/m^2)。

(2) 光热转换效率

$$\eta_{th} = \frac{m c_p (T_{out} - T_{in})}{A \times G}$$

式中： η_{th} —PV/T 组件光热转换效率(%)； m —换热介质的质量流量(kg/s)； c_p —换热介质的定压比热容($J/(kg \cdot K)$)； T_{out} —换热介质出口温度(K)； T_{in} —换热介质进口温度(K)。

(3) 综合能源利用效率

PV/T 组件实现光电、光热协同输出，其综合能源利用效率为光电与光热转换效率的叠加，计算公式为：

$$\eta_{total} = \eta_{el} + \eta_{th}$$

式中： η_{total} —PV/T 组件综合能源利用效率(%)。基于上述公式测算，现阶段商用高效 PV/T 组件在标准测试条件（太阳辐照度 $1000\text{W}/\text{m}^2$ 、环境温度 25°C 、风速 $1\text{m}/\text{s}$ ）下， P_{el} 可达 $255\text{W}/\text{m}^2$ ，换热介质进出口温差可稳定在 $8\sim 12\text{K}$ ，经计算 η_{el} 可达 17% 以上， η_{th} 可达 55% 以上， η_{total} 突破 70%，较传统单一光伏组件（仅光电利用）能源利用率提升 40% 以上。

在系统协同控制方面，智能调度技术不断完善，结合 LSTM 算法、GBDT 算法等，可实现光伏出力与采暖空调用能需求的精准预测，优化能源分配，提升系统运行效率。储能技术的发展也为系统稳定运行提供了支撑，磷酸铁锂电池的能量密度不断提升，成本持续下降，循环使用寿命可达 10 年以上，其充放电效率核心计算公式为：

$$\eta_{bat} = \frac{W_{\text{discharge}}}{W_{\text{charge}}} \times 100\%$$

式中： η_{bat} —磷酸铁锂电池充放电效率(%)； $W_{\text{discharge}}$ —电池放电总电能(kWh)； W_{charge} —电池充电总电能(kWh)。

目前主流磷酸铁锂电池的 η_{bat} 可达 95% 以上，搭配的 BMS 系统智能化水平不断提高，可实现储能设备的精准监测与保护，进一步降低电池能量损耗。

在被动式节能与光伏技术的结合方面，形成了“被动节能+主动光伏”的一体化设计模式，建筑采暖空调节能率计算公式为：

$$\eta_{\text{save}} = \frac{Q_0 - Q_1}{Q_0} \times 100\%$$

式中： η_{save} —建筑采暖空调系统节能率(%)； Q_0 —未采取节能措施时的采暖空调耗能量(kWh)； Q_1 —采取“被动节能+主动光伏”措施后的采暖空调耗能量(kWh)。

通过建筑保温、遮阳、自然通风等被动式设计，结合光伏供能系统，建筑采暖空调系统 η_{save} 可达 60% 以上，大幅减少采暖空调用能需求，降低光伏组件的配置容量。

2 光伏技术在建筑采暖空调 0 能耗系统中应用的优化策略

2.1 优化光伏出力调控，提升供需匹配度

(1) 完善光伏出力预测技术。结合不同地域的太阳辐射资源特点，优化光伏出力预测模型，采用 LSTM 算法与卡尔曼滤波算法相结合的方式，提升预测精度，减少预测偏差。通过增加气象数据采集节点，实时采

集光照强度、云层覆盖率、风速、温度等气象数据，对预测模型进行动态修正，确保预测值与实际出力值的偏差控制在 10% 以内。

(2) 优化储能系统配置。根据建筑采暖空调的用能需求、光伏出力特点，科学配置储能系统的容量与类型，实现光伏出力与用能需求的时空匹配。对于北方寒冷地区，冬季采暖需求大、光伏出力不足，应适当增大储能设备容量，优先选用能量密度高、低温性能好的磷酸铁锂电池，确保冬季夜间用能需求。对于南方地区，夏季空调制冷需求大、光伏出力波动性强，应优化储能充放电策略，采用“峰谷充放电”模式，提升储能利用率。

(3) 推进光伏与多能源协同。结合建筑所在地域的能源资源特点，推进光伏技术与风能、地热能、空气能等多能源协同利用，弥补光伏出力的不足，提升系统的稳定性与可靠性。同时，完善市电互补机制，优化市电接入策略，在光伏出力严重不足时，合理接入市电，确保系统稳定运行，同时将多余光伏电能并入电网，获取经济收益，降低运行成本。

2.2 优化系统耦合设计，提升整体运行效率

(1) 科学进行设备选型与配置。建立光伏组件、储能设备、采暖空调设备的耦合匹配设计标准，根据建筑的用能需求、光伏出力特点，科学选型与配置设备，避免盲目追求装机容量。优先选用高效节能的光伏组件与采暖空调设备，如高效晶硅光伏组件、变频空调机组、全热回收新风系统等，提升设备运行效率。对于 PV/T 系统，优化组件结构设计，提升光电与光热综合利用效率，结合热泵系统的运行特点，优化 PV/T 与热泵的耦合结构，采用串联或并联耦合模式，提升系统 COP 值。

(2) 提升智能调度技术水平。深化智能控制系统的应用，构建“光伏出力-储能状态-用能需求”三位一体的智能调度平台，采用先进的智能算法，实现系统的精准调度与自动化运行。实时采集光伏出力、储能状态、室内外环境参数、采暖空调设备运行参数等数据，通过数据分析，优化光伏供电、储能充放电、设备运行参数的调控策略，确保系统在不同工况下均能高效运行。引入人体舒适度模型，结合温度、湿度及风速参数，在优化能耗的同时，保障用户使用体验。

(3) 推进光伏建筑一体化深度融合。优化光伏组件与建筑的融合设计，将光伏组件与建筑的屋顶、立面、门窗、遮阳板等部位深度融合，实现“建筑即发电”，既提升光伏组件的装机容量，又不影响建筑的美观性

与使用功能。例如,推广光伏屋顶瓦、光伏幕墙、光伏遮阳板等一体化组件的应用,结合建筑设计,优化光伏组件的安装角度,提升太阳辐射吸收效率。对于新建建筑,采用“光伏建筑一体化”同步设计、同步施工、同步运维的模式,优化建筑设计,为光伏组件的安装提供便利。对于老旧建筑,结合改造工程,合理安装光伏组件,兼顾节能效果与建筑美观。

2.3 降低初始投资成本,推动规模化推广

(1) 加大技术研发与产业扶持力度。加大对光伏技术、储能技术、智能控制技术等核心技术的研发投入,鼓励产学研合作,推动核心技术的突破与国产化替代,降低核心设备的成本。例如,加大对高效 PV/T 组件、高端储能设备、智能调度系统的研发力度,提升国产设备的性能与质量,替代进口设备,降低设备采购成本。

(2) 完善政策支持与补贴机制。进一步完善相关政策支持体系,出台针对性的补贴政策、税收优惠政策,降低项目初始投资成本与长期运行成本。例如,对光伏采暖空调 0 能耗系统项目给予初始投资补贴,对核心设备采购给予税收减免。建立光伏电力并网补贴机制,提高多余光伏电能的并网收益。鼓励地方政府出台差异化的扶持政策,根据不同地域的特点,给予针对性的补贴支持,推动项目在不同地域的推广应用。

(3) 优化系统设计,降低建设成本。优化光伏采暖空调 0 能耗系统的设计方案,结合建筑的用能需求与经济实力,设计差异化的系统方案,避免过度设计,降低建设成本。同时,优化建筑被动式节能设计,通过采用高效保温材料、优化遮阳设计、提升建筑气密性等措施,减少采暖空调用能需求,降低光伏组件与储能设备的配置容量,进一步降低建设成本。

2.4 完善技术标准,健全运维体系

(1) 制定完善的技术标准与规范。加快制定光伏技术在建筑采暖空调 0 能耗系统中应用的技术标准与规范体系,明确系统设计、设备选型、施工安装、运

行维护、性能评价等方面的要求,实现系统设计与施工的标准化、规范化。建立系统性能评价标准,明确 0 能耗系统的评价指标,确保系统运行效果达到预期目标。

(2) 健全运维体系,培养专业运维人才。建立健全光伏采暖空调 0 能耗系统的运维体系,制定科学的运维管理制度,明确运维责任与流程,提升系统的运维水平。加强与高校、职业院校的合作,开设相关专业课程,培养具备光伏技术、储能技术、采暖空调技术与智能控制技术等多领域知识的专业运维人才。开展运维人员培训,提升现有运维人员的专业技能,确保系统能够得到科学的运维管理。

2.5 强化地域适配性,提升气候适应性

根据我国不同地域的气候条件、太阳辐射资源、用能需求特点,进行个性化的系统设计,提升系统的地域适配性与气候适应性。对于北方寒冷地区,重点优化光伏组件的安装角度与储能设备配置,结合地热能、空气能等多能源协同,弥补冬季光伏出力不足的问题,提升采暖效率。对于南方地区,优化光伏组件的遮阳设计,避免高温与降水对光伏出力的影响,结合空气能热泵系统,优化空调制冷效率,降低用能需求。对于高原地区,充分利用丰富的太阳辐射资源,优化光伏组件装机容量,结合风能协同供电,满足采暖与制冷需求。对于沿海地区,选用耐腐蚀的光伏组件与设备,提升系统的抗腐蚀能力,适应沿海潮湿多盐雾的气候环境。

3 结论

本文围绕光伏技术在建筑采暖空调 0 能耗系统中的应用展开系统性探索,结合本科生专业知识、相关理论研究与实际工程案例,明确了光伏技术与建筑采暖空调 0 能耗系统的核心技术要点、耦合机制,分析了当前应用形式、现有成果与突出问题,并提出了针对性优化策略。通过落实优化策略,可进一步降低市电依赖度、提升能源利用效率、降低运行成本,充分发挥光伏技术的节能低碳价值。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部.近零能耗建筑技术标准(GB/T 51350-2019)[S].北京:中国建筑工业出版社,2019.
- [2] 住房和城乡建设部.“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划[Z].2022.