

城市建筑领域碳排放中光储直柔技术应用

高扬

上海弘韬建设发展有限公司

DOI:10.12238/btr.v8i3.4699

[摘要] 本文以地区某既有超低能耗居住建筑为研究对象,系统探讨“光储直柔”微电网在零碳建筑中的技术路径。该建筑利用被动式设计降低本体能耗,结合光伏-储能直流微网实现能源自平衡,年总耗电量为8684 kWh,光伏发电量达12606 kWh,具备零碳排放能力。监测数据显示,系统光伏自用率达87%,储能利用率为68.3%,综合损耗率控制在34.8%以内,全年光伏出力率为52.7%。通过构建光储直柔协同优化机制,进一步提升能源利用效率,有效支撑建筑实现清洁能源的全面替代。研究成果为地区既有建筑低碳改造提供了可复制的技术方案,验证直流微网在超低能耗建筑中应用的可行性,对于推动城市建筑领域碳中和具有重要参考价值。

[关键词] 零碳建筑; 光储直柔; 被动式技术; 建筑能耗综合值

中图分类号: TU111.19+5 **文献标识码:** A

Application of Light Storage Direct Flexible Technology in Carbon Emissions in Urban Construction Field

Yang Gao

Shanghai Hongtao Construction and Development Co., LTD.

[Abstract] This article takes an existing ultra-low energy residential building in a certain region as the research object, and systematically explores the technical path of "photovoltaic storage direct flexible" microgrid in zero carbon buildings. The building utilizes passive design to reduce energy consumption and combines photovoltaic energy storage DC microgrid to achieve energy self balance. The total annual electricity consumption is 8684 kWh, and the photovoltaic power generation reaches 12606 kWh, with zero carbon emission capability. Monitoring data shows that the photovoltaic self use rate of the system reaches 87%, the energy storage utilization rate is 68.3%, the comprehensive loss rate is controlled within 34.8%, and the annual photovoltaic output rate is 52.7%. By constructing a direct flexible collaborative optimization mechanism for light storage, energy utilization efficiency can be further improved, effectively supporting the comprehensive replacement of clean energy in buildings. The research results provide replicable technical solutions for low-carbon transformation of existing buildings in the region, verifying the feasibility of applying DC microgrids in ultra-low energy buildings, and have important reference value for promoting carbon neutrality in the urban construction field.

[Key words] zero carbon buildings; Light storage straight and soft; Passive technology; Comprehensive value of building energy consumption

引言

建筑领域作为我国碳排放的重要来源之一,其低碳转型路径已经成为实现“双碳”目标的关键突破口。本文注重地区既有超低能耗居住建筑中“光储直柔”(Photovoltaic-Energy Storage-Direct Current-Flexibility, PEDF)系统的应用,探讨该系统在降低建筑运行阶段碳排放中的技术可行性。当前,我国建筑全过程碳排放占比高达38.2%,推动零碳建筑发展需以

本体节能为基础,通过提升围护结构热工性能、增强气密性等被动式措施,大幅度降低能耗使用需求,并结合高效主动式设备和可再生能源系统,实现运行阶段的净零碳排。在未来研究中,工作人员要进一步优化建筑能源管理系统(EMS),全面提高直流家电兼容性,为城市建筑领域碳减排提供智能的技术支撑。

1 工程概况

五方零碳楼项目将实现运行阶段碳中和为目标,全面推行

电气化用能模式,结合建筑光伏一体化(BIPV)技术,最大化提高光伏发电能力,如果和磷酸铁锂电池系统进行融合,有助于实现可再生能源的高效存储。建筑采用直流微电网架构,使大部分终端负荷直接接入直流配电系统,大幅度降低交直流转换损耗。系统核心控制单元为电能路由器,利用EMS(能源管理系统)实现源网荷协同调控,在月度及年度时间尺度下确保光伏-储能系统的发电量完全覆盖建筑用能需求。

2 城市建筑领域碳排放中光储直柔技术的实施路径

2.1 建筑光伏一体化

五方零碳楼项目采用碲化镉(CdTe)薄膜光伏组件,充分发挥其在弱光条件下的发电优势,相较于传统晶硅组件,该材料具备较低的热斑效应风险和低辐照响应能力,在阴雨天气仍然可维持较高能量输出,大幅度提高全年发电的稳定性。整栋建筑共部署屋面光伏瓦、阳台光伏栏板、附属小屋、景观亭屋顶等光伏应用场景,总装机容量达27.79 kW。其中,光伏小屋顶部和南立面采用真空+中空+发电玻璃复合构造,厚度达36mm,具有保温性能和发电功能;阳台顶部区域采用标准化尺寸碲化镉组件替代传统围护结构,将空间利用和能源采集进行有机融合;而屋面整体更换为光伏瓦形式,共安装132块1180×400规格组件,单块功率85 W,合计容量达9.90 kWp,有效覆盖建筑主要用电负荷。

为了进一步提高光伏发电系统的使用效果,工作人员在项目同步引入PVsyst仿真平台,模拟分析各子系统的发电现象,结合郑州地区太阳辐照数据、建筑朝向、遮挡情况,得到年理论发电量为23922.7 kWh,充分满足建筑全年用能需求。此外,两个景观亭屋面所配置的12.36 kWp碲化镉组件也接入到直流微电网,实现能源就地生产,有助于提高建筑本体的能源自给能力,实现光伏构件、建筑美学、功能性的相互统一,成功解决传统附加式光伏系统应用的局限性^[1]。

2.2 储能系统

五方零碳楼项目配置功率为30 kW、容量为60 kWh的磷酸铁锂电池单元,通过双向DC/DC变换器接入750V直流母线,给光伏发电波动性提供足够的缓冲空间。该储能系统采用模块化设计,具备高能量密度、长循环寿命、热稳定性良好等特征,适用于频繁充放电场景下的高效运行需求。系统控制柜利用电能路由器作为能源分配与保护控制的中枢组件,在多变流器组网环境中实现源-储-荷协同调控。电能路由器通过集成智能EMS(能源管理系统),统一调度光伏阵列、储能单元、负载设备、电网接口,科学优化电力流动路径,提高能源利用效率,保证微电网在并网模式下能够稳定运行,不仅增强建筑分布式光伏电量的就地消纳能力,还能提高电力供能的安全性。

2.3 直流配电系统

项目采用DC 750V高压直流母线架构,结合多级DC/DC变换器,将电压下降到DC 375V和DC 48V,从而满足不同终端负荷,构建起层次分明的直流微电网体系。该系统通过实时监测光伏发电、储能单元、市电输入,结合EMS(能源管理系统)实施策略性切换调度,在确保系统运行安全前提下实现光伏自用率的

最大化。目前,在项目中很多家用电器均采用直流驱动模式,工作电压为24V、48V,具备低功耗、高转换效率等特点,能够直接接入直流母线,减少传统建筑中交直流转换带来的能量损耗。同时,针对少数交流设备需求,系统配置AC/DC双向变流装置,实现交流负荷的柔性接入。整个直流配电拓扑结构清晰,具备良好的扩展性,有助于加强系统的响应速度(见图1)。

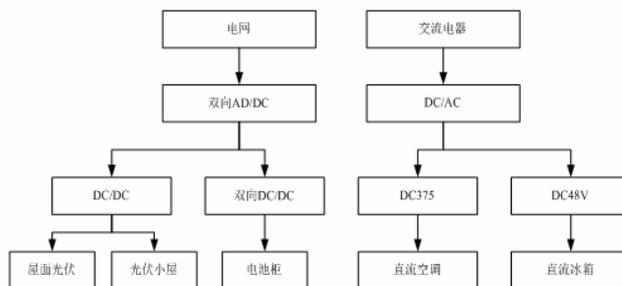


图1 五方零碳楼配电系统拓扑图

2.4 柔性用电方案

在本项目中,工作人员采用基于直流母线电压波动的自适应调节策略,使空调、照明等负载根据电力供应状态自动调整功率输出,在满足建筑基本用能需求的前提下,实现“荷随源动”的智能调控模式。当光伏发电充足或储能处于高位时,系统优先由可再生能源供电,自主储存多余电能,并将其反馈到外电网;而当光伏出力不足时,系统则自动切换至市电支持模式,有助于提高供能的连续性。该柔性用电机制将EMS(能源管理系统)和电能路由器进行有机结合,构建起光伏、储能、负载与城市电网之间的多向互动体系,有效提升建筑对分布式能源的消纳能力,降低对于传统电网的依赖程度^[2]。

在系统实际运行过程中,离网、并网切换逻辑将电池SOC(荷电状态)作为主要依据。当SOC低于15%时,系统自动切断离网运行模式,将城市电网经整流后接入直流母线,保障供电的安全性;当SOC回升至80%时,则恢复为“光伏+储能”独立供电模式,实现绿色能源的闭环运行。电能路由器EMS系统在此过程中承担中枢调控职能,在并网状态下由PCS(储能变流器)进入直流电压源模式,有效维持母线的稳定性;在光伏出力大于负载需求时,则优先启用光伏DC/DC模块供电,储能系统保持待机;当光伏功率超过负载及储能充电需求时,EMS调度储能DC/DC模块进入恒压、恒流运行模式,将冗余电量回馈至电网。而在光照不足情况下,如果储能仍然具备放电能力,则由储能单元维持直流母线电压的稳定性;当储能无法支撑负载运行时,市电端口自动介入,从城市电网获取补充能量^[3]。

3 运行效果

3.1 全年发电量和碳排放量

基于2022—2023年度监测数据,五方零碳楼在实施“光储直柔”系统改造后,实现了建筑运行阶段的能源零碳排放目标。全年微电网总发电量达12606 kWh,其中光伏系统贡献主导,储能单元有效调节供需错配,直流负荷高效匹配可再生能源特性。数

据显示,该建筑全年用电总量为8684 kWh,向市电馈送1934 kWh,同时从城市电网获取补充电力2358 kWh。经核算,在扣除并网回馈电量后的净输入可再生能源约为10972 kWh,接近建筑实际消耗和外购电力之和(约11042 kWh),两者偏差控制在统计误差范围内,表明系统具备较高的能量闭环能力(见表1)。此外,结合EMS智能调度策略,系统综合损耗率控制在合理区间,全年损耗约为34.8%,主要来源于DC/AC变换、线路传输、储能充放电过程。由于建筑全面实现电气化用能,没有涉及到化石燃料燃烧环节,所以运行阶段碳排放为零,验证了“光储直柔”技术路径在地区既有居住建筑中的应用可行性。

表1 五方零碳楼全年总用电量(全部用能)

| 日期 | 月耗电量(kWh) | 光伏发电(kWh) |
|----------|-----------|-----------|
| 2022.10月 | 705 | 832 |
| 2022.11月 | 886 | 920 |
| 2022.12月 | 857 | 888 |
| 2023.01月 | 942 | 750 |
| 2023.02月 | 836 | 838 |
| 2023.03月 | 777 | 1002 |
| 2023.04月 | 548 | 1026 |
| 2023.05月 | 452 | 1090 |
| 2023.06月 | 434 | 1359 |
| 2023.07月 | 795 | 1453 |
| 2023.08月 | 844 | 1456 |
| 2023.09月 | 608 | 992 |
| 电量总计 | 8,684 | 12,606 |

3.2 实际效果

根据《建筑光储直柔系统评价标准》(T/CABEE 055—2023)测算,该建筑全年光伏发电总量为12606 kWh,其中就地消纳电量达10972 kWh,光伏发电自用率达到87%,远超标准中40%的最低要求,充分体现直流微网在提升光伏能源本地利用率方面的应用优势^[4]。储能系统方面,严格按照《民用建筑直流配电设计标准》(T/CABEE 030—2022),项目年度累计充电量包括光伏发电12606 kWh和市电补给2358 kWh,合计14,964 kWh,结合额定容量60 kWh计算,储能年利用率为68.3%,虽然低于70%的推荐值,

但仍然具备较高运行效率。同时,通过计算系统综合损耗率为34.8%,主要来源于DC/AC变换、线路传输、一体柜内部空调等辅助设备能耗,表明系统存在有待优化的空间;基于PVsyst软件模拟得出的理论发电量为23922.7 kWh,而实际发电量为12606 kWh,光伏出力效率为52.7%,受到组件转换效率、安装朝向等因素影响^[5]。

4 结语

五方零碳楼的“光储直柔”系统运行实践表明,想要实现建筑运行阶段的零碳排放,要充分利用被动式技术,大幅度降低能耗需求,实现可再生能源的全面覆盖,进而达到能源自平衡的目标。监测数据显示,该系统光伏发电自用率达87%,具备较高的就地消纳能力;储能利用率为68.3%,低于标准要求,建议科学优化容量配置,全面提升能源利用率;系统综合损耗率偏高(34.8%),主要源于设备待机功耗和直流配电调控精度不足。在未来研究中,要重点提升EMS系统的动态响应能力,优化调度策略,降低系统自身能耗,加强小尺度建筑中源网荷协同控制能力,推动“光储直柔”技术在城市居住建筑中的精细化应用,有助于全面实施建筑领域碳中和目标。

[参考文献]

[1]潘冬喜,宁存岱,莫铭瑞,等.基于“光储直柔”太阳能技术的低碳乡村建设研究[J].光源与照明,2024(4):101-103.

[2]高航.“光储直柔”技术在低碳校园建筑设计中的应用研究[J].中国建筑装饰装修,2024(15):92-94.

[3]吴羽柔,陈维,罗春艳,等.低碳背景下“光储直柔”关键技术研究现状与应用展望[J].重庆建筑,2023,22(5):29-31.

[4]范丽佳.中国建筑业碳排放现状及“光储直柔”碳中和路径[J].重庆建筑,2021,20(10):23-25.

[5]李焱,盛巳宸,李硕,等.基于“光储直柔”技术的智慧高速服务区设计应用[J].绿色建造与智能建筑,2023(12):15-20.

作者简介:

高扬(1993—),男,汉族,江苏省扬州市人,硕士,中级职称,建筑施工、绿色建筑。