

光伏微网在电子玻纤工厂的调峰策略研究

邓子昂

凯荣德（韶关）玻璃纤维有限公司，广东 韶关 512000

DOI:10.61369/ME.2026070005

摘 要： 电子级玻璃纤维织布厂以采购的玻纤纱作为原料，经过整浆、并经、喷气式织造以及 KH、FN、BH 等后续处理流程，实现丝线到玻纤布的持续转变。此过程设备种类繁多、负荷差别明显，且对生产持续性和布面品质约束严苛，让厂区于光伏微网接入情形下面临负荷响应水平欠缺与调峰受限制等难题。针对上述特性，本文将丝线变成布的织造成布完整流程作为研究对象，分析整浆、并经、织造以及后处理设备的用电特征及其调峰潜能，提出符合工艺约束的光伏微网协同调峰方案。经由主要设备电力电子接口的改造、工艺侧可调负荷开展建模以及日前、日内、实时三级协调式控制，实现光伏发电、储能系统和织布负荷间的高效协同。根据典型运行日的模拟与试点信息，对净负荷平稳度、峰谷差降低率以及经济性参数开展评估。分析显示在不干扰织造成布流畅性与布面品质的情况下，所提出的策略能够明显加强电子玻纤织布工厂的调峰水平并取得较好的经济收益。

关 键 词： 电子玻纤工厂；光伏微网；调峰策略

Research on Peak shaving Strategy of Photovoltaic Microgrid in Electronic Fiberglass Factory

Deng Ziang

Kairongde (Shaoguan) Glass Fiber Co., Ltd., Shaoguan, Guangdong 512000

Abstract： The electronic grade glass fiber weaving factory takes the purchased glass fiber yarn as the raw material, and realizes the continuous transformation from silk thread to glass fiber cloth through the whole slurry, warp, air jet weaving and KH, FN, BH and other follow-up treatment processes. This process has a wide variety of equipment, obvious load differences, and strict constraints on production continuity and fabric quality, which makes the plant face problems such as lack of load response level and limited peak regulation in the case of photovoltaic microgrid access. In view of the above characteristics, this paper takes the complete weaving process of silk thread into cloth as the research object, analyzes the electrical characteristics and peak shaving potential of sizing, drawing, weaving and post-processing equipment, and proposes a photovoltaic microgrid collaborative peak shaving scheme that meets the process constraints. Through the transformation of the power electronic interface of the main equipment, the modeling of the adjustable load on the process side and the three-level coordinated control of day-ahead, intra-day and real-time, the efficient coordination among photovoltaic power generation, energy storage system and weaving load is realized. According to the simulation and pilot information of typical operation days, the net load stability, peak-valley difference reduction rate and economic parameters are evaluated. The analysis shows that the proposed strategy can significantly enhance the peak shaving level of the electronic glass fiber weaving factory and achieve better economic benefits without interfering with the smoothness and quality of the woven fabric.

Keywords： electronic fiberglass factory; photovoltaic microgrid; peak shaving strategy

引言

在双碳目标以及新型电力体系建立的背景环境里，工业企业投身电网调峰以及新能源消纳，成为主要的发展趋向。电子级玻璃纤维织布厂属于典型的连续制造场景，其生产流程以织机为主要，整浆、并经以及后处理工序共同运作，形成以电驱动为主、部分随着加热模块的综合负荷方案。随着分布式光伏于厂区的广泛接入，光伏出力的随机起伏和织造成布流程对供电稳定性的硬性需求间出现矛盾，限制光伏电力的高占比利用。当前研究大多从纺纱或者后整理高温装置方面研究调峰难题，但是针对不涉及纺纱、以织机为主的电子玻纤织布厂的研究仍然比较少。在此基础上，本论文专注丝线转变为布面过程里的用电负荷特点，全面研究光伏微网情况下的调峰策略。

一、纺织织布工厂调峰需求与设备现状分析

（一）织布生产设备负荷特性

在常见电子级玻璃纤维织布企业里，生产流程以织造以及织造前后的辅助作业为主，未涉及纺纱步骤。工厂所使用的原料是外购的电子级玻璃纤维纱，经过整浆处理，再经过特定流程后直接进入织造环节，由喷气式织布机实现丝线到玻纤布的持续转变。所以织机以及其配套体系构成厂区最为主要的用电负荷源头，对电网调峰有着决定性作用^[1]。以日本丰田喷气式织布机作为典型的高速织造装置，其主电动机、喷气体系及控制部件在运转期间要维持较高的转速以及稳定的气压，对供电的连续性和电能的质量要求颇高。织机负载程度和开机数量、织造紧密度以及生产节奏紧密相连，当处于订单集中或者满负载生产情形时，厂区的用电负荷一般会在白天出现明显的高峰。另外整浆、并经以及织造后处理等辅助工序，尽管单机功率相对不大，不过设备数量较多、运行时间较为集中，在特定期间会和织造主负荷叠加，进一步扩大峰时段的电力需求。从整体上分析，电子级玻璃纤维织布工厂的用电负荷展现出以织机为主要、连续性较高、可调节空间受生产工艺限制的特性。所以在不影响织造连续性以及布面品质的基础条件下，开展面向织造工序的调峰策略研究，对于降低厂区的峰值用电负荷和优化能源使用结构有重点要价值。

（二）现有设备与光伏微网的协同难点

在当下生产状况中，电子级玻璃纤维织布工厂设备和光伏微网协同运作仍然面临多方面难题。工厂的核心负载专注在喷气织机及其配套体系，这类装置对运行持续性和电压稳定性较为敏感，负载调节能力受到生产节奏和排产规划的限制，难以频繁开启关闭或快速改变功率运行。在光伏出力受天气变动显示短时段波动时，织机负载难以即刻跟随作出调整，容易导致光伏出力和实际用电需求间出现瞬间失配。对比来看整经浆纱联合机、络经机以及部分后续处理设备在运行时长和功率方面具有一定的调节余地，不过其启动停止和负荷的改变仍要遵循浆料配比、经轴供应的连续性以及产品的一致性工艺规定，难以完全当作自由可调控负荷来运用。除此之外现有的设备大多由不同的厂商供应，控制系统的接口和通信协议缺乏统一标准，部分机台还不具备和储能系统或者能量管理系统（EMS）直接进行交互的能力，这对光伏、储能、负荷的协同调度效能产生制约。所以织布工厂引入光伏微网之后，迫切需要从设备电力接口、负荷特性建模以及统一能量管理平台等方面展开工作，提高生产设备对微网调度指令的响应水平，为后续调峰控制策略的实施打下基础^[2]。

二、纳入光伏微网的织布工厂技术架构分析

（一）光伏微网在织布工厂的应用场景

在电子级玻璃纤维织布工厂里，光伏微网主要通过厂房屋顶或者附属空地搭建分布式光伏系统，给整浆机、并经机、喷气织布机以及 KH、FN、BH 等后处理设备供应清洁电能，且通过能量管理系统（EMS）实现光伏发电、储能系统和生产负荷间的协

同运行。因为工厂里不存在单独设立的烘干装置，加热和干燥的功能一般整合在整浆机、KH 或者 FN 等设备的功能模块当中，所以光伏微网的调度主要并非工序转变，而是针对整机的运行状况开展负荷的优化配置。在光照状况良好的时段，优先确保包含加热模块且能耗程度较高的整浆及后处理设备运转，以提高光伏电力的就地消纳占比；当光伏出力产生波动时，由储能系统担负短时功率补偿，稳定负荷侧电力波动；在夜间或者电价低谷时段，就结合生产规划安排对织造连续性影响较小的工序作业，并通过低价电能为储能系统充电。经过上述途径，搭建光伏优先、储能调节、负荷受控的运转模式，实现织布工厂峰值负荷降低与能源结构改善^[3]。

（二）光伏微网与纺纱—织造全流程的耦合关系

在织布厂里面，光伏微网的耦合效应主要显示在织造以及其前后辅助工序这一方面。整经与浆纱及并经设备的运行时段较为集中，负荷变动节奏的可预测程度较高，适宜与光伏发电的日内功率输出曲线开展协同优化；喷气式织机作为主要的连续型负荷，其开启的台数和生产排程计划能够在一定区间内进行灵活配置，以配合光伏发电出力的变化；后整理设备尽管能耗较大，但通过合理规划运行时间段，可成为光伏微网调峰的重要调控对象。通过能量管理系统对光伏发电预估、负荷需求预估以及储能调节方案开展统一协同，能够实现织布生产体系与光伏微网在时间方面的有效符合，在确保生产稳定性时提高新能源利用效能^[4]。

（三）织布工厂现有电力系统与微网接入的适配性

目前织布工厂的配电系统大多根据生产区域来划分供电单元，织造车间、整浆并经区域以及后处理区域一般由不同的配电回路或者变压器来供电，这为光伏微网的分区接入与分级控制创造有利条件。通过于在主配电节点处设置光伏并网点，同时在主要负荷一侧布置储能系统，能够实现分区自治和整体协调相融合的电力管理方式。一些新型织机和后处理装置已拥有通信接口，能够直接接入 EMS 平台；而一些陈旧设备还需通过加装智能电表或者功率控制模块实现用能监测与调配。完成适配性改造后，织布厂现有的电力系统拥有较好的光伏微网接入条件，能够满足调峰控制与负荷响应要求^[5]。

三、改造后设备与光伏微网的协同调峰验证

（一）协同调峰控制策略设计

1. 多时间尺度协调控制框架

在电子级玻璃纤维织布厂接入光伏微网的运行情形下，有必要搭建包括日前、日内和实时这三个时间方面的协同调峰控制方案，从而在满足织造工艺流程连续性限制的基础上，实现生产负荷与光伏功率输出、储能调节之间的协同适配。近日计划方面根据光伏出力预估、生产排产规划以及电价资讯，针对织机开机数量、整浆和并经等辅助设备的运行时段开展全面规划，建立符合工艺限制的基准负荷曲线。日内调节层按照实际光照状况、设备运转状态以及订单执行进程，对可调负载设备的运行功率与启停

节拍进行滚动校正，从而减小预测误差对系统调峰成效的作用。实时管控层通过能量管理系统针对光伏出力、储能充放电功率以及主要设备负荷开展秒级的监测与调控，在不影响织机核心运转参数的情况下，实现对厂区净负荷波动的迅速抑制。通过上述多时间方面协调体系，能够在确保织造连贯性和产品稳定性的同时，提高光伏电力的消纳程度并强化厂区的调峰能力^[6]。

2. 设备优先级动态调整机制

在光伏微网开展调峰运行进程里，不同的生产装置对工艺连续性以及产品质量的影响程度有明显差别，所以要建立通过工艺约束的设备优先级动态调节机制。按照设备于织造流程里的主要程度，把喷气织布机及其核心驱动系统归为高优先级负荷，其运行功率与节奏在调峰期间原则上维持稳定；把整浆机、KH、FN等含有加热模块且具有一定运行弹性的设备归为中等优先级负荷，能够在满足工艺参数范围的条件下参与负荷调整；其余辅助设备则当作低优先级负荷，根据系统调峰要求进行灵活调配。在光伏出力出现波动或者系统面临调峰压力的情况下，能量管理系统会优先调节中低优先级设备的运行状况以及储能功率，以此来实现负荷平衡，防止对核心织造设备产生干扰。通过这一动态优先级体系，能够在确保生产平稳性的同时提高整体调峰效能，实现工艺限制与能源调配之间的高效协作^[7]。

（二）实证效果与经济性分析

1. 调峰性能测试

为检验协同调峰控制策略的有效性，可挑选典型生产日，对改造前后的厂区运行数据展开对比分析，重点评估净负荷曲线的平滑程度、峰谷差值的变化以及光伏消纳比率等指标。研究结果显示，在多时间尺度调控和设备优先级规则影响下，厂区负荷的波动范围明显减小，高峰负荷得到有力削减，光伏出力和用电负载的匹配水平明显提高。织机的运行参数维持在既定的工艺区间内，未对生产的连续性以及产品质量产生不利作用，证实调峰策略在实际运用中的可行性和有效性。

2. LCOE 测算与投资回收

在经济性评价方面，运用全生命周期成本分析手段对光伏微网及其相关设备改造的投入与产出展开测算。全面考量光伏系统和储能设备的初始投入、运行维护费用，以及通过削峰填谷和提高自发自用占比所产生的电费节省效益，核算改造后系统的平准化用能成本（LCOE）和投资回收期。经分析结果表明，在当下电价及政策情形下，引入光伏微电网并开展协同调峰控制能够明显降低单位产品的综合能耗成本，投资回收期处于可接纳范围，拥有良好的经济可行性，为电子级玻璃纤维织布厂家推广此模式提供有力支持^[8]。

四、设备改造工程实施保障体系

（一）改造风险评估与控制

1. FMEA 故障模式分析

在光伏微网和织布厂负荷协同改造期间，采用 FMEA 故障模式分析来识别或许会引发的电力中断或者设备连锁故障风险非常

主要。针对改造所涉的主要负荷设施，像喷气织机、整浆机、并经机以及后处理辅助设备等展开细致分析，评定可能产生的故障类型，比如微网电压起伏导致织机停止运行、整浆机控制失灵引发生产中断，亦或是储能系统异常造成负荷调节失调。分析故障原因并评定其对整体生产持续性和电力调峰成效的作用，同时按照故障出现几率及影响严重程度对各模式予以排序。根据分析结论拟定具有针对性的预防与应急措施，像强化功率监测、增装故障感应装置、完善负荷和储能的协同调控，减少故障出现几率以及对生产连续性的干扰，保障微网改造之后的负荷协同运作平稳可靠^[9]。

2. 生产连续性保障措施

在光伏微网的改造以及设备协同调峰工作里，确保生产的连续性为核心任务。一方面按照分阶段开展改造，针对不同工序以及主要机台逐个进行系统调试或升级，尽可能降低对整体生产流程和布料产量的影响，保证像织机、整浆机还有并经机这类核心设备持续平稳运行；另一方面建立应急调控机制，当改造或者调试期间出现设备或者储能异常而导致负荷中断时，能够迅速转换为备用功率调控方案或者储能补偿模式，让生产过程不停顿，将峰谷电力平衡失效的情况降至最低限度。此要求备用系统时刻处于待运行状态，且对切换流程进行优化来缩减响应时间，进一步保障微网改造期间厂区负荷的连续性和调峰稳定性^[10]。

（二）智能运维系统配套建设

1. 设备状态监测网络架构

在微电网改造的智能运维系统里，状态监控网络方案发挥主要功效。在织机、整浆机、并经机以及后处理设备等重要节点安装电流、电压、功率和温度传感器，对设备运行状况与负荷数据进行实时收集，能够及时察觉潜在的电力异常或者设备故障。传感器所收集的大量数据通过稳定的网络传至数据处理中枢，运用数据处理的算法和分析模型开展深度探寻，监测功率的起伏、负荷响应的速率以及设备的运行状况，进一步为运维人员提供决策的参考，实现负荷调峰和生产连续性的高效管控。

2. 数字孪生运维平台开发

搭建数字孪生运维系统，给光伏微网改革予以全方面帮助。通过建立主要设备与负荷的数字孪生模型，精准模拟负荷变动、储能响应以及微网运行状况。通过 3D 可视化特性，能够直观展现设备运转和功率流动状况，帮助运维人员即时了解负荷分布以及光伏消纳程度。集成预测性维护能力（PHM），通过大数据分析机器学习对潜在的故障以及峰谷失衡提早预判，实现预防性的维护，减少设备或者微网故障的风险，保证改造之后的工业负荷在光伏有波动的情形下高效且稳定地运行。

（三）政策激励机制运用

1. 需求侧响应补贴政策

在微网改造以及智能负荷调控策略施行时，像需求侧响应这般的激励机制能够推动生产与电力的优化。工厂能够通过优化设备运作策略，像调节负荷开启与停止的次序、功率分配以及储能输出等方式，在用电高峰时段减少电力使用量或者调控负荷响应，进一步获取政策或者经济方面的激励。在执行过程里，要细

致记录改造前后的负荷曲线、设备响应以及光伏出力指标，根据规范申报贡献量，从而获取补贴或者激励资金。这不但为设备及微网改造提供经济支撑，还促进工厂能源利用朝高效、绿色的方向迈进。

2. 碳交易机制影响分析

在微电网改造以及负荷优化的进程里，碳排放控制机制同样可带来经济激励。改造后的设备能效得以提高，能耗有所降低，同时能削减峰值负荷，这可相应减少碳排放，进一步获取额外的碳配额。若这些配额进入碳交易市场，能够为工厂带来经济收益。所得收益能够进一步支撑微网以及智能运维方面的投入，让投资回收周期得以缩短，从而提高经济效益。从全局视角而言，碳交易机制促使工厂对负荷与微网运行进行优化，实现电力的高效且低耗使用，同时推动节能减排和可持续发展目标的实现。

五、总结

通过对光伏微网和工业负荷开展协同改造，大幅提高厂区生产系统的能源使用效率以及调峰能力。通过优化核心设备运行方式与负荷调配策略，实现不同工序和辅助装置间的高效协作，保证厂区负荷于光伏变动及生产限制下平稳、持续运转，确实减少因负荷骤变或设备局限引发的光伏消纳不充分和峰谷电力冲击隐患。针对不同生产工艺类别的工厂，需根据自身负荷特点、设备功率以及能耗分布状况，适配性地挑选改造方案，从而充分展现智能化调峰与负荷优化的优势。在未来阶段，5G+MEC 技术于智能工业微网领域展现出非常广阔的应用前景，有机会实现对设备负荷的实时监测与精确调控，进一步提高能源的利用水准、调峰效能以及可再生能源的消纳能力，帮助工业生产朝着绿色、高效以及智能化的方向迈进。

参考文献

[1] 胡志豪. 计及风光的机井群控系统构建及参与配网调峰策略研究 [D]. 石河子大学, 2022.

[2] 陈国航. 电化学储能集群参与系统调峰的优化控制策略 [D]. 东北电力大学, 2023.

[3] 谢宝强. 基于 GA-LSTM 与迁移学习的短期天然气负荷预测及调峰策略研究 [D]. 西安建筑科技大学, 2023.

[4] 徐晴. 分布式光伏虚拟聚合及调峰任务分配策略研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2023.

[5] 孙桂萍. 光伏微网母线电压稳定控制策略的研究 [D]. 临沂大学, 2023.

[6] 朱超群, 钱霄杰, 张晓明, 等. 面向储能的光伏微网成本评价及应对策略分析 [J]. 信息系统工程, 2021, (07): 151-153.

[7] 李明, 尹晓宇, 董小菱, 等. 电力物联网光伏微网多目标容量配置优化研究 [J]. 电子设计工程, 2024, 32(05): 165-168+173

[8] 廖英祺, 荆江平, 嵇文路, 等. 基于 PMP 的风储联合最优调峰控制策略研究 [J]. 电机与控制应用, 2023, 50(05): 72-81+104.

[9] 陈浩龙. 适应分布式新能源发电系统负荷调峰策略研究 [J]. 节能与环保, 2021, (03): 52-53.

[10] 陈玉峰, 梁思伟, 王家华. 多站融合场景下控制架构及调峰策略 [J]. 电器与能效管理技术, 2023, (03): 22-27+32.