

绿色能源背景下光伏新能源技术研究

武健

江苏苏美达能源控股有限公司, 江苏 南京 210032

[摘要]在全球能源转型与“双碳”战略目标的驱动下,光伏新能源技术已成为构建绿色低碳能源体系的核心支撑。文中系统梳理了光伏新能源技术的主要类型与特点,深入分析了当前光伏技术发展面临的光电转换效率有待提升、储能配套技术发展不足、发电稳定性受环境影响较大以及建设与运维成本压力较高等突出问题,并从提升光伏电池转换效率、推进储能技术协同发展、加强智能运维与数字化管理、完善光伏产业链与技术创新体系以及建立健全光伏回收利用机制五个维度提出优化策略,旨在为光伏产业的高质量可持续发展提供理论参考与实践指导。

[关键词]绿色能源; 光伏技术; 储能配套; 智能运维; 组件回收

DOI: 10.33142/hst.v9i5.19886

中图分类号: TK282

文献标识码: A

Research on Photovoltaic New Energy Technology under the Background of Green Energy

WU Jian

Jiangsu UMEC ENERGY Holdings Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210032, China

Abstract: Driven by the global energy transition and the "dual carbon" strategic goals, photovoltaic new energy technology has become the core support for building a green and low-carbon energy system. The article systematically summarizes the main types and characteristics of photovoltaic new energy technology, and deeply analyzes the prominent problems faced by the current development of photovoltaic technology, such as the need to improve photovoltaic conversion efficiency, insufficient development of energy storage supporting technology, significant environmental impact on power generation stability, and high pressure on construction and operation costs. Optimization strategies are proposed from five dimensions: improving photovoltaic cell conversion efficiency, promoting the coordinated development of energy storage technology, strengthening intelligent operation and digital management, improving the photovoltaic industry chain and technological innovation system, and establishing a sound photovoltaic recycling mechanism, aiming to provide theoretical reference and practical guidance for the high-quality and sustainable development of the photovoltaic industry.

Keywords: green energy; photovoltaic technology; energy storage facilities; intelligent operation and maintenance; component recycling

引言

在全球应对气候变化、推动能源结构转型的大潮之下,绿色能源成了各国能源战略的关键问题。光伏发电因为资源分布广、环境友好、技术成熟度高,而成为全球能源转型过程中越来越重要的能源形式。中国光伏产业经过多年的发展,已经形成了一个具有世界竞争力的完整的产业链。截至2024年底,中国光伏发电装机容量为8.9亿kW,比上一年增长了45.2%,风电和太阳能总装机容量达到14.1亿kW,提前六年的目标实现了12亿kW以上的装机规模。但是装机规模迅速扩大也造成了消纳难、运行不稳、成本压力增大等许多问题,急需从技术上进行系统性的突

破。在此背景下,对光伏新能源技术的创新途径和发展策略进行深入研究,对能源绿色转型、能源安全有着十分重要的现实意义。

1 光伏新能源技术的主要类型与特点

光伏新能源技术经过数十年的发展演进,已经形成了以晶体硅电池为主、多种技术路线并行发展的多元化格局。根据所用半导体材料的不同,光伏电池可分为晶体硅太阳能电池、薄膜太阳能电池和新型太阳能电池三大类,具有不同的技术特点和应用领域。晶体硅太阳能电池是目前光伏市场的主要技术,分为单晶硅和多晶硅两种。单晶硅电池因为晶体结构完整、缺陷密度低,具有较高的光电转换效率和较好

的稳定性，2025 年硅基太阳能电池仍占光伏市场绝对主导地位，年产能超过 600GW，远超其他类型的电池合计 10GW 产能，全球产业已经完成了从 P 型 PERC 到 N 型 TOPCon 的全面转型，N 型产能市占率超过 93%。薄膜太阳能电池是以铜铟镓硒（CIGS）、碲化镉（CdTe）等化合物半导体作为吸光层，具有弱光响应好、温度系数低、可柔性制备等特点，在建筑光伏一体化、便携式电源等领域有比较明显的竞争优势。新型太阳能电池中，钙钛矿电池受到关注，单结和叠层钙钛矿电池的理论效率极限分别达到 33% 和 43%，远远高于传统的晶硅太阳能电池 29.4% 的极限效率，钙钛矿/晶硅叠层电池是头部企业保持技术领先的一个重要选择。产业化上，钙钛矿技术正在由实验室走向产线，极光电能的全球首条 GW 级产线已经投产，协鑫光电大面积 GW 量产线也部分启用。以下对各类主流光伏电池技术的特点进行对比汇总：

2 绿色能源背景下光伏新能源技术发展面临的问题

2.1 光电转换效率有待提升

光电转换效率是评价光伏电池技术先进程度的主要指标，也是决定光伏发电经济性的重要因素。虽然近几年来光伏电池的效率不断提高，但是目前主流晶硅电池的效率已经接近理论极限，提高的空间也越来越小。由于电池效率每提高 1%，绝对值就会降低 3%~5%，所以，怎样使新型电池达到更高的效率水平，已经成为全球光伏行业研究的热点以及技术核心。钙钛矿叠层电池虽然在实验室中可以达到 35% 以上的效率，但是大面积制备工艺还不是很成熟，长期稳定性问题还没有得到解决，离大规模商业化应用还有很大的差距^[1]。除此之外，不同的技术路线之间效率的差别也在增大，高效晶硅电池和低端多晶硅产品的效率差值可以达到 10% 以上，这样就加大了产业内部的不均衡发展。

2.2 储能配套技术发展不足

光伏发电具有间歇性、波动性的天然特性，要依靠储能系统才能达到稳定电力输出的目的。但是目前储能技术同光伏装机规模的契合程度十分低。2025 年 1~10 月全国光伏发电利用率 94.9%，比上年同期下降 2.2%，光伏利用率首次降到 95% 以下的“红线”上，西部一些地区弃光率甚至达到 28% 以上。储能配套滞后深层次的原因是成本、技术、市场机制三重制约。目前电化学储能度电成本约为 0.6~0.8 元，远远高于煤电调峰成本。锂电池虽然占据了储能市场的主要份额，但是循环寿命和安全问题还没有得到根本的解决；液流电池虽然具有寿命长、安全性高、初始投资大的特点，但是能量密度低、成本高。2025 年 9 月，国家发展改革委、国家能源局联合印发了新型储能规模化建设专项行动方案（2025—2027），要求到 2027 年全国新型储能装机规模达到 1.8 亿 kW 以上，但是实际进度滞后。

2.3 发电稳定性受环境影响较大

光伏发电受到自然条件的直接影响，出力具有很强的间歇性、波动性、不确定性。晴天时光伏电站出力曲线呈“午高峰”状，阴雨、雾霾、沙尘等天气会使得出力迅速降低。这种特性给电力系统的安全稳定运行带来了严峻挑战。在新能源高渗透率地区，光伏出力的急剧变化会引起电网频率、电压出现异常波动，促使常规电源不断调节出力来维持电网平衡，加大了系统运行成本和设备损耗。然而，目前储能的平均时长只有 2.58h，难以有效平抑光伏波动，导致弃风弃光和电力短缺频繁发生。随着风光电占比的提高，电网安全运行面临极大的挑战。从季节上来说，光伏发电有明显的“夏高冬低”特点，用电负荷在冬季一般处于高峰，时间错配又加重了系统的调峰压力。另外，极端天气事件，强风、冰雹、雪覆等都会给光伏组件带来物理上的损伤，造成大面积停机或者设备损坏。

表 1 主流光伏电池技术对比表

技术类型	实验室效率	量产效率	核心优势	主要挑战	典型应用场景
单晶硅电池	26% 以上	24%~25%	技术成熟、稳定性高、产业链完善	接近理论效率极限、高温性能受限	大型地面电站、户用分布式
多晶硅电池	21% 左右	18%~20%	成本较低、生产工艺相对简单	效率偏低、市场竞争优势减弱	对成本敏感的电站项目
薄膜电池	23%-25%	17%~19%	弱光性好、温度系数低、可柔性化	生产设备投资高、稀有金属依赖	建筑光伏一体化、便携电源
钙钛矿单结电池	27.3%	实验室阶段	成本低、材料来源广、可溶液加工	稳定性待提升、大面积制备难	叠层组件、室内弱光应用
钙钛矿/晶硅叠层	35.0%	中试阶段	突破单结极限、全光谱利用	工艺复杂、长期稳定性待验证	高效电站、高端分布式
有机太阳能电池	19% 左右	实验室阶段	柔性透明、可卷对卷印刷	效率偏低、稳定性不足	半透明窗户、可穿戴设备

2.4 建设与运维成本压力较高

虽然过去十年光伏组件价格下降了 90% 以上, 但是电站建设及运维成本仍然有较大的压力。从建设角度来说, 由于优质光照资源越来越难寻, 新建项目要往地形复杂、基础设施落后的偏远地区延伸, 这就加大了土地平整、道路修建、输电线路等配套工程的投资。国家能源局数据显示, 2025 年 1~5 月我国新增光伏装机接近 2 亿 kW, 同比增长 57%, 总装机达到 10.8 亿 kW, 但是部分地区的弃光率仍然高达 5%~8%, 消纳能力的制约使高效低成本的发电装机在运营阶段不能充分发挥其经济效益^[2]。大型地面电站大多处在荒漠戈壁这些偏远地区, 传统依靠人工巡检的模式存在着效率低、成本高、安全风险大的问题, 运维人员要对百万数量级的组件展开日常监测, 人力与时间的耗费十分巨大。

3 绿色能源背景下光伏新能源技术优化与发展策略

3.1 提升光伏电池转换效率

提高光电转换效率是降低光伏发电成本、提高产业竞争力的最根本的方法。在晶硅电池方面, 应该不断推进 N 型 TOPCon、异质结、TBC 等高效电池技术的更新换代, 利用氢增强表面钝化、激光诱导结晶等先进工艺来挖掘晶硅电池的效率提升空间。2025 年润阳、晶科分别实现 26.55%、26.67% 的 TOPCon 电池效率突破, 融合异质结与 TOPCon 接触的 THBC 电池创下 27.90% 的大面积效率纪录, 接近理论极限的 98%。新型电池方面要加大钙钛矿和叠层电池的研发力度, 集中解决大面积制备、长期稳定性、无铅化等产业化难题, 把钙钛矿/晶硅叠层技术由实验室走向规模化生产。截至 2025 年 2 月, 隆基绿能创造的钙钛矿/晶硅叠层电池世界最高纪录效率已经达到了 34.6%, 小面积叠层电池也突破了 35.0%。除此之外还要加强产学研协同创新, 创建开放共享的测试验证平台, 加快高效率器件技术转移及工程化转化, 缩小实验室效率和量产效率之间的差距。

3.2 推进储能技术协同发展

储能可以解决光伏消纳难题、提高系统的灵活性。应加快建立以电化学储能为主、多种技术路线相互补充的储能系统。锂离子电池领域要继续推进技术降本和性能提高。目前各大厂商 500Ah 以上电芯的量产时间表已经比较清楚, 预计 2026 年一季度末到二季度会陆续开始量产, 587Ah、588Ah 将会成为主要的增产方向。长时储能领域应该积极发展全钒液流电池、压缩空气储能等技术路线。全钒液流电池有能量转换效率高、蓄电容量大、电池寿命

长等特点, 可以应用到可再生能源并网、电网调峰调频、分布式能源存储等各个领域^[3]。另外还要加强源网荷储协同调度能力的建设, 在新能源富集地区推进新能源和储能联合参与电力市场交易, 用价格信号来引导储能资源的合理配置。

3.3 加强智能运维与数字化管理

智能化、数字化是提高光伏电站运维效率、降低全生命周期成本的重要途径。全面推进无人机自动巡检、AI 图像识别、在线监测等智能技术在光伏场站的使用。利用无人机自动机场装有高精度红外热成像仪和可见光设备, 采用自主研发的 AI 缺陷识别算法, 可以对光伏组件的温度异常、表面缺陷、遮挡等进行全天候的精确检测。依靠大数据以及 AI 算法的运维模式由原来的“事后维修”转变为“预测性维护”, 预测准确率可以达到 98% 以上。另外还要创建起涵盖光伏电站全生命周期的数字化管理平台, 对运行数据、设备状况、环境信息展开实时采集并上传到云端, 从而达成远程集中监控以及智能调度决策的目的。在分布式光伏方面, 可以采用“区域集控+属地响应”的轻量级运维模式, 用物联网技术对小散站点实施统一的监管和协同管理。

3.4 完善光伏产业链与技术创新体系

完善的产业链以及技术创新体系, 才是保证光伏产业持续健康发展所必须的条件。另一方面是上游多晶硅、硅片、电池片、组件等各个环节之间的协调发展, 对供需平衡进行监测, 防止因环节之间产能错配或者过度竞争而产生恶性竞争。目前硅片环节 182mm、210mm 大尺寸产品的市占率已经超过了 95%, 电池片的量产效率达到了 25%, 组件的成本十年内下降了 90%, 但是全链条的协同创新还存在不足。应该支持龙头企业牵头创建创新联合体, 就高效率电池、长寿命组件、柔性封装这些共性关键技术展开联合攻关。另一方面, 在产业技术日新月异的情况下, 各个企业还要加强对于前沿技术路线战略判断的能力, 防止由于技术路线选择的重大失误而造成沉没成本, 实现短期经济效益和长期技术储备的协调。

3.5 建立健全光伏回收利用机制

由于光伏装机规模不断增大, 退役组件的回收利用问题越来越突出。预测未来几年内光伏组件大规模退役潮会来临, 如果缺少完善的回收体系, 不仅会造成资源的极大浪费, 还会给环境带来严重危害。2025 年光伏组件层压件绿色高效分离技术及装备被列入国家重大环保技术装备创新任务, 2027 年完成装备研制^[4]。技术上要加快物理分离、热处理裂解、化学提纯等多工艺路径的产业化验证,

预期玻璃、硅材料、银、铜、锡回收率不低于 99%，背板和胶膜的资源化率不低于 99%。制度上要加快落实生产者责任延伸制度，明确组件生产企业和电站运营方的回收责任，工业和信息化部已经明确提出到 2027 年建立光伏组件绿色低碳标准体系，重点制定碳足迹核算规则、退役组件拆解处理要求、热解法/溶剂法综合利用技术规范等。另外还要建立规范的回收网络和认证体系，促使正规回收企业做大做强，使光伏产业由“绿色发电”向“绿色终结”实现全过程闭环。

4 结语

在绿色能源背景下，光伏新能源技术正处在由规模扩张向质量效益转变的时期。本文从技术类型和特点、发展瓶颈和挑战、优化策略三个方面对光伏新能源技术的研究进展进行了系统梳理，发现了效率提升空间小、储能配套严重滞后、发电稳定性差、成本压力大等制约光伏新能源产业可持续发展的深层次问题，从电池转换效率提高、储能技术协同发展、智能运维体系建设、产业链协同创新、回收利用机制构建等几个方面提出系统性对策。光伏新能源

技术在高效化、智能化、绿色化三者之间会不断进步，给全球能源结构转型以及“双碳”目标达成赋予强有力的科技支持。同时也要注意新兴技术路线所造成的颠覆性变革，用开放包容的心态去迎接光伏产业的下一个技术跃迁。

[参考文献]

- [1]方雨豪,刘书杰,华天奇,等.基于光伏发电的绿色能源园区低碳经济优化运行方法研究[J].电气技术与经济,2026(4):252-254.
- [2]张杰,李飞.光伏发电与绿色能源的可持续发展路径[J].商业文化,2025(23):13-15.
- [3]钟美慧.新能源领域光伏发电技术的应用[J].光源与照明,2026(4):191-193.
- [4]张晓磊,曾亚敏,吕志林.农村地区“光伏+储能”系统经济性分析[J].农村电工,2025,33(11):31.

作者简介：武健（1983—），男，汉族，江苏南京人，中级工程师，硕士，毕业于湘潭大学原子与分子物理学专业，从事光伏组件技术研究工作。