

# 5G 通信技术在电力新能源光伏发电系统中的应用研究

马瑞

新疆华电苇湖梁新能源有限公司，新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市，830000；

**摘要：**5G 通信技术在光伏发电系统中的应用，不仅能够解决传统系统在效率和稳定性上的瓶颈，而且能够通过技术的创新推动光伏行业向更高的智能化、网络化发展方向迈进。随着 5G 通信技术的不断成熟和光伏技术的进一步优化，未来的光伏发电系统将更加高效、可靠以及智能，为全球可持续发展目标的实现提供坚实的技术支持。这不仅具有重大的技术价值，而且在经济和社会层面展现了深远的影响力，为研究者和工程师提供了广阔的探索领域与实践平台。

**关键词：**5G 通信技术；电力新能源；光伏发电系统

**DOI：**10.69979/3041-0673.25.12.093

5G 通信技术以其独特的高数据传输速率、低延迟以及广连接性能，提供了一种全新的解决方案，以支持光伏发电系统的实时监控与维护，有效提高能源转换效率与电网的可靠性。随着全球能源结构向清洁、低碳转型的推进，光伏发电作为一种可再生能源，其发展速度与规模正在迅猛增长。

## 1 5G 通信技术定义特点

5G 通信技术（第五代移动通信技术）是新一代宽带移动通信技术，具有高速率、低时延和大连接的核心特点，是实现人机物互联的关键网络基础设施。其具体特点如下：

### 1.1 核心特点

高速率，理论峰值速率达 10-20Gbps（约为 4G 的 10 倍以上），用户体验速率提升至 1Gbps。支持 4K/8K 超高清视频、VR/AR 沉浸式应用及秒级高清电影下载。低时延，空口时延低至 1ms 级（4G 时延的 1/5~1/10）。满足工业控制、远程手术、自动驾驶等对实时性要求极高的场景需求。大连接，支持每平方公里百万级设备同时接入（如智能电表、环境传感器等物联网终端）。推动智慧城市、智能家居等海量设备互联应用。

### 1.2 衍生特性

高可靠性，通过冗余传输与边缘计算技术，保障关键场景（如电网控制、工业自动化）99.999%的传输可靠性。网络切片，虚拟化技术按需分配网络资源，为不同业务（如远程医疗、智慧能源）提供定制化通信服务。能效提升，低功耗设计支持物联网设备长期运行，助力绿色通信发展。5G 通过大规模 MIMO、毫米波等关键技术实现上述特性，并已应用于工业、医疗、能源等数字化转型领域。

## 2 光伏发电系统组成

光伏发电系统主要由以下核心部件组成，各部件协同工作实现太阳能向电能的转换：

### 2.1 基础组件

光伏阵列（太阳能电池方阵），由光伏组件（单晶硅、多晶硅或薄膜电池）串联/并联构成，核心功能是将太阳光转化为直流电能。光伏组件采用“三明治”结构：钢化玻璃（透光率>91%）、EVA 胶膜、电池片、背板（防潮抗紫外线）及铝边框。控制器，控制充放电过程，防止蓄电池过充/过放，具备温度补偿功能（离网系统必备）。逆变器，将光伏阵列产生的直流电转换为交流电，适配电网或负载用电需求。

### 2.2 配套设备

蓄电池组（仅离网系统），储存电能，在光照不足时供电，常用铅酸电池或锂电池。配电设备，直流汇流箱：集中多个组件串的电流。交流配电柜：分配逆变后的交流电能。支架系统，支撑光伏阵列，优化倾角以最大化光能捕获。

## 3 光伏发电工作原理

光伏发电工作原理的核心是半导体材料的光生伏特效应（光伏效应），其本质是将太阳光能直接转化为电能。具体过程与技术原理如下：

### 3.1 光电转换核心原理

光生伏特效应，当太阳光子照射到半导体材料（如硅）时，其能量被电子吸收，电子获得足够能量后脱离原子束缚，形成自由电子和空穴（正电荷）。PN 结电场驱动电流：P 型半导体（掺硼，含大量带正电的空穴）与 N 型半导体（掺磷，含大量带负电的电子）结合形成 PN 结，交界处因电荷差异产生内建电场。光照下产生的

自由电子在电场作用下向 N 区移动，空穴向 P 区移动，两端形成电势差（电压），接通电路后产生直流电流。

### 3.2 能量转换过程

光能→电能，太阳能电池吸收光子，释放电子-空穴对，单晶硅/多晶硅电池片组成光伏组件。直流电汇集，多组电池片串联/并联提升输出电压/电流，通过汇流箱整合电流。直流→交流，逆变器将直流电转换为交流电，适配电网或负载用电需求。

### 3.3 系统工作流程

[太阳光]→[光伏组件]→[产生直流电]→{系统类型}→|离网系统|[控制器→蓄电池储能]→|并网系统|[逆变器→电网]→[逆变器→负载供电]→[用户/电网用电]，离网系统：直流电经控制器存储于蓄电池，再经逆变器供负载使用。并网系统：直流电直接逆变后输入电网，无储能环节。

### 3.4 效率关键因素

材料特性，单晶硅转换效率≈24%，多晶硅≈20%，非晶硅≈10%。光学损失，玻璃透光率需>91%，防反射涂层减少光反射损失。温度影响，组件温度每升高 1℃，输出功率下降 0.3-0.5%。当前主流技术（如 TOPCon、HJT）通过减少电子复合损失提升效率至 25%以上。

## 4 5G 通信技术与新能源光伏发电系统

5G 通信技术与新能源光伏发电系统的融合，正通过高速率、低时延、大连接的特性，显著提升光伏系统的智能化水平和运维效率，推动能源结构绿色转型。以下是关键应用方向及典型案例：

### 4.1 核心应用价值

实时监测与故障诊断，通过 5G 网络传输光伏组串的电流电压（IV）曲线数据，结合 AI 分析实现毫米级故障定位（如热斑、遮挡），诊断精度提升 40%以上。如某 550 兆瓦光伏电站利用 5G+IV 诊断技术，替代传统有线传输，在保障数据安全的同时降低运维成本。智能运维与无人巡检，5G+无人机/机器人自动巡检山地光伏电站，解决地形复杂、人工巡检效率低的问题，巡检效率提升 300%。某边防站采用搭载 5G 模块的无人机实时回传高清画面，实现远程安防监控。能源协同与动态调度，光伏直供 5G 基站需解决发电波动性与负载匹配难题。智能能源管理系统（iEMS）通过气象预测与负载监测，动态调度光伏、储能和市电，实现多能源无缝切换，保障基站 24 小时供电。

某运营商部署 iEMS 后，基站能耗降低 35%，运维成本下降 60%。

### 4.2 关键技术突破

通感一体设计，基站集成通信、环境感知（如水质监测、安防雷达）和边缘计算能力，应用于海洋牧场、边境巡逻等场景。弹性网络架构，

5G-A 三载波聚合（3CC）技术聚合 3.5GHz/2.1GHz/700MHz 频段，峰值速率达 4Gbps，阴雨天仍保障万兆连接。极简部署方案，易通 All-in-One 机柜支持-40℃~85℃宽温运行，3 小时完成基站部署（传统需 7 天），适配高原、沿海等严苛环境。

### 4.3 规模化应用成效

节能降本：采用光伏+智能锂电供电的 5G 基站，优先使用太阳能，节能效率超 35%，单基站年省电费 3867 元。离网供电：通过“光伏+储能+微波回传”方案，为村民提供网络，建设成本降低 70%。高效管理：国家能源局推广的智慧光伏电站方案，构建“5G+物联网+AI”三层架构，实现设备全生命周期管理。

## 5 5G 通信技术在光伏发电中的应用

以下是 5G 通信技术在光伏发电领域的主要应用方向及典型案例，基于技术特性和场景需求深度融合：

### 5.1 智能光伏电站运维优化

无人机/机器人 5G 巡检，通过 5G 网络实时回传无人机拍摄的高清影像，AI 自动识别光伏板热斑、污损、遮挡等故障，巡检效率提升 300%。设备状态实时监控，5G 传感器采集逆变器、变压器运行数据，毫秒级传输至云平台，实现故障预测与精益化维护。IV 曲线扫描技术通过 5G 无线传输，快速定位组串级异常（如二极管失效）。

### 5.2 光伏基站供电系统革新

光伏直供 5G 基站，光伏板+储能电池替代市电，降低 40%运营成本，动态能源调度：EnergyOS 系统预测发电量（准确率≥95%），智能切换光伏/市电/储能，保障基站 24 小时供电。极简部署与高可靠设计，一体化机柜支持-40℃~85℃宽温运行（珠峰实测），3 小时完成基站部署。IP68 防护+防盐雾腐蚀，适应沿海/沙漠等严苛环境。

### 5.3 光伏制造智能化升级

5G+工业互联网工厂，某基地采用 5G 控制中心调度 AGV 小车及生产线，实现：生产效率提升 161%，用工减少 62%，能源消耗降低 30%。设备协同与远程调试，5G 低时延（1ms）保障机械臂精准操作，支持专家远程 AR 指导设备维护。

## 5.4 多场景融合应用

应急通信保障, 72 小时快速部署移动光伏基站, 洪灾中维持 48 小时连续供电。偏远地区覆盖, 光伏供电+微波回传替代光纤, 怒江峡谷为村民提供网络。城市高流量区, 载波聚合(3CC)提升至 5Gbps 速率, 冬奥会场馆节能 50 万元电费。关键技术突破, 网络切片: 为光伏监控、控制指令分配专属通道, 保障关键数据优先传输。边缘计算: 基站侧实时处理发电数据, 降低云端负载(延迟<10ms)。通感一体: 基站集成环境感知(如水质监测、安防雷达), 拓展光伏电站附加值。

## 6 5G 促进光伏发电系统智能化提升

### 6.1 光伏设备智能监控与诊断

故障定位精度提升: 通过 5G 网络实现毫秒级 IV 曲线扫描, 组串级故障诊断精度提升至单串级别, 运维响应速度提高 80%。无人机巡检: 部署 5G 联网无人机替代人工巡查复杂山地, 覆盖效率提升 300%。通感一体化: 基站集成环境感知功能, 在海洋牧场实时监测水质(溶氧量、pH 值), 提升养殖成活率至 95%。AI 能源管理: EnergyOS 系统动态调度光伏与储能, 广东某基站能耗降低 35%, 运维成本下降 60%。

### 6.2 生产与运维智能化升级

AGV 无人搬运: 5G 专网支撑 AGV 小车全天候精准运输光伏玻璃, 通信时延<20ms, 实现零差错搬运。远程集中管控: 实时监控设备状态与任务进度, 提升生产调度效率。分布式运维集约化管理, 区域化集中运维: 利用 5G 大连接能力整合分散电站数据, 少人值守模式降低人工成本 40%以上。

### 6.3 能源协同与电网优化

光伏直供 5G 基站, 智能能源调度(iEMS): 某基站通过光伏叠光供电, 动态平衡发电波动与负载需求, 供电可靠性达 99.99%。电网安全增强, 继电保护优化: 5G 网络切片支撑毫秒级故障隔离(动作时延缩至 10ms 级), 提升电网稳定性。

## 7 5G 在光伏发电中的未来发展趋势

以下是 5G 通信技术在光伏发电领域未来发展的核心趋势, 基于技术演进、政策导向及产业实践综合分析:

### 7.1 网络架构深度耦合

全场景智能组网, 光伏直供基站规模化: 光伏+储能成为 5G 基站主流供电方案, 动态调度算法(如 EnergyOS)实现光/储/网多源协同, 降低通信行业 40%运营

成本。通感一体技术突破: 基站集成环境监测功能(辐照度、风速、安防), 拓展光伏电站附加值, 支撑“光伏+农业/交通”多场景融合。弹性网络切片, 为光伏监控、电力调度分配专属 5G 通道, 保障控制指令传输时延<10ms, 故障响应效率提升 50%。

### 7.2 智能运维全面升级

无人化运维体系, 5G+AI 无人机巡检覆盖率超 90%, 结合机器人自动清洗, 山地电站运维成本降至 0.03 元/W/年。数字孪生与预测性维护, 电站数字孪生体实时映射物理状态, AI 预测设备故障提前 72 小时, 发电损失减少 20%。

### 7.3 光储融合技术重构

构网型储能, 光储系统模拟同步发电机特性, 主动稳定电网频率与电压, 支撑光伏装机占比超 30%的电网稳定运行。高频高密化器件, 5G 载波聚合(3CC)提升至 5Gbps 带宽, 匹配 GW 级电站数据回传, 监控数据传输效率提升 300%。边缘智能调度, 基站侧实时优化光储充用策略, 自发自用率提升至 85%, 分布式光伏度电成本降 33%。

### 7.4 政策与生态协同

国际标准引领, 中国主导光伏+5G 国际标准制定(如 ITU-T L. Supp), 推动全球 10 万基站采用融合方案。新型商业模式, 能源社区共享: 5G 支撑去中心化绿电交易, 户用光伏业主直接参与电力市场。

综上所述, 5G 通信技术在电力系统中的应用可以显著提高系统的智能化水平和运营效率。因此, 建议在电力系统中积极推广 5G 通信技术, 以增强电网的可靠性和安全性。

## 参考文献

- [1] 金焰. 5G 技术在电力系统新能源接入中的应用研究[J]. 湖北电力, 2023, 47(1): 112-117.
- [2] 李蓬国. 5G 技术对新能源接入配电网继电保护的影响及优化[J]. 制造业自动化, 2023, 45(8): 77-80.
- [3] 赵晓成. 5G 通信在电力系统中的应用[J]. 山东电力技术, 2020, 47(10): 6-10.
- [4] 李名. 华为 5G+C-V2X 车载通信技术被评为全球新能源汽车创新技术[J]. 信息通信技术与政策, 2019(7): 77.
- [5] 阚天娜. 5G 网络切片技术在电力通信中的研究与应用[J]. 电工技术, 2023(13): 214-217.