

新政下农村分布式光伏开发运营关键技术研究

张 锋¹, 张 怡^{2*}, 张博涵¹, 莫建国¹, 裘愉涛¹, 谢夏慧¹

(1. 国网浙江省电力有限公司, 浙江 杭州 31007; 2. 浙江水利水电学院, 浙江 杭州 310014)

摘要: 针对农村能源结构转型需求及传统供电模式短板, 结合136号文政策背景, 文章旨在探索农村分布式光伏的发展路径、关键技术及盈利模式, 助力农村能源低碳可持续发展。研究通过分析农村分布式光伏的资源与负荷特性, 结合136号文政策影响, 深入研究并网逆变器、电能质量治理、微电网控制等关键技术, 提出高效组件研发、智能运维等创新方向, 并探讨虚拟电厂框架下的资源整合与盈利模式。结果表明, 农村分布式光伏具有地域分散、负荷季节性波动等特点, 136号文的补贴与标准规范显著提升项目可行性; 研究攻克了适配农村电网的并网技术难题, 构建了“光伏+农业”等融合模式, 验证了虚拟电厂通过电力市场交易和增值服务实现盈利的潜力。

关键词: 农村分布式光伏; 并网关键技术; 模式创新; 虚拟电厂

中图分类号: TM615

DOI: 10.13882/j.cnki.ncdqh.2508A022

CSTR: 32400.14.ncdqh.2508A022

Key Technologies for the Development and Operation of Rural Distributed Photovoltaics under the New Policy

ZHANG Feng¹, ZHANG Yi^{2*}, ZHANG Bohan¹, MO Jianguo¹, QIU Yutao¹, XIE Xiahui¹

(1. State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd., Zhejiang Hangzhou 31007, China;

2. Zhejiang University of Water Resources and Electric Power, Zhejiang Hangzhou 310014, China)

Abstract: Driven by the transformation of rural energy structures and the limitations of traditional supply models, and under the policy framework of Document No.136, this study explores the development pathways, key technologies, and models for rural distributed photovoltaics (PVs). By analyzing PV resource availability and load characteristics, and considering policy impacts, the research investigates core technologies such as grid-connected inverters, power quality regulation, and microgrid control. It further proposes innovations in high-efficiency PV modules and intelligent operation and maintenance. In addition, models under the framework of virtual power plants (VPPs) are examined. Results indicate that rural distributed PVs exhibit regional dispersion and seasonal load fluctuations, while subsidies and standards under Document No.136 significantly improve project feasibility. Technical challenges of grid connection in rural power systems are addressed, fusion models such as "PV + Agriculture" are developed, and the potential of VPPs to achieve profitability through market participation and value-added services is verified. This study highlights rural distributed PVs as a key enabler of energy transition and identifies policy support and technological innovation as critical drivers.

Keywords: rural distributed photovoltaic; grid-connection technologies; model innovation; virtual power plants

0 引言

农村能源结构转型是实现“双碳”目标与乡村振兴战略的重要支撑。当前, 我国农村能源消费仍以煤炭、柴油等传统化石能源为主, 占比超60%, 不仅造成严重的环境污染, 还存在能源利用效率低、

基金项目: 浙江省自然科学基金白马湖实验室联合基金资助项目(LBMHY25F030003)。

收稿日期: 2025-08-08

运输损耗大等问题^[1]。随着农村经济发展与居民生活水平提升, 用电需求呈现“总量增长、结构多元”特征: 一方面, 家用电器普及率提升推动生活用电激增; 另一方面, 农业现代化(如大棚温控、机井灌溉)与乡村工业发展扩大生产用电规模。然而, 传统电网供电模式难以适配农村负荷“分散化、季节性波动大”的特性, 供电可靠性与经济性面临双重挑战^[2]。分布式光伏以其清洁可再生、就近消纳

的优势，成为破解农村能源困境的关键抓手。农村地区拥有广阔的屋顶、荒地等闲置空间，光照资源禀赋优良，具备大规模开发分布式光伏的天然条件。但农村场景的特殊性（如电网基础薄弱、运维条件有限）也对光伏技术适配性、运营模式灵活性提出更高要求^[3]。

2025年1月，国家发展改革委、国家能源局联合印发《关于深化新能源上网电价市场化改革促进新能源高质量发展的通知》（发改价格〔2025〕136号）（以下简称136号文），为农村分布式光伏发展提供了政策保障。其核心作用体现在2方面：1) 通过财政补贴、税收减免等激励政策提升项目投资回报率，激发社会资本参与热情；2) 明确并网技术标准、安全规范等要求，为项目质量与电网安全兜底^[4]。在此背景下，系统研究农村分布式光伏的特性适配技术、模式创新路径及盈利机制，对推动农村能源低碳转型具有重要意义。本文围绕136号文政策导向，从特性分析、技术攻关、模式创新、盈利探索四个维度展开研究，构建“政策-技术-模式”协同发展体系。

1 农村分布式光伏特性与新政影响分析

1.1 农村分布式光伏核心特性

近年来，分布式光伏在农村地区发展较为快速，图1所示为近年来北京地区某远郊区光伏发展增长情况，由图可知，该县分布式光伏4年时间内从31.572 MW增长到103 MW，年均增长高达34.5%。同时，农村分布式光伏的开发运营须立足其资源与负荷的独特属性^[5]。在资源端，农村地区光照资源丰富但空间分布不均：西北地区年日照时数超3 000 h，而东南沿海受气候影响波动较大；可利用场地（屋顶、大棚、荒地）呈现“碎片化”特征，单个项目

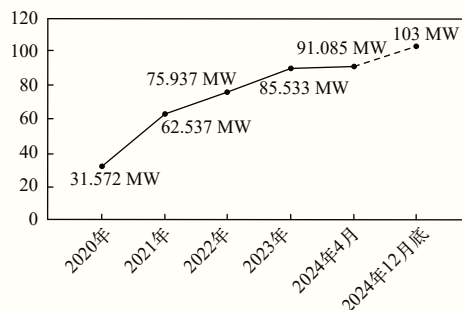


图1 北京地区某远郊区县分布式光伏发展增长情况

规模多在10~500 kW之间，增加了规划协调难度。在负荷端，农村用电呈现“三强特性”：1) 分散性强，用户间距大导致配电网线路长、线损高；2) 季节性，夏季灌溉与空调负荷用电量较冬季翻倍；3) 波动性强，农业生产用电（如排灌）与居民生活用电叠加形成短期负荷峰值。这种“资源分散-负荷波动”的错配特性，对光伏系统的容量配置、调度灵活性提出特殊要求。

1.2 136号文的政策驱动作用

136号文通过“激励+规范”双轮驱动农村分布式光伏发展，为乡村能源转型注入强劲动力。在激励层面，文件明确对农村分布式光伏项目给予0.03~0.05元/kW·h的度电补贴，补贴期限长达5a，同时叠加增值税减免等税收优惠政策。更重要的是简化补贴申请流程，实现“线上申报、线下核验”的高效办理模式，使项目投资回收期较政策前缩短1~2a。以浙江某村“光伏+屋顶”项目为例，政策支持下投资回报率从8%提升至11%，农户年均增收超3 000元，参与意愿显著增强。在规范层面，文件首次针对农村场景细化技术标准：要求并网逆变器具备200~1 000 V宽电压输入与低电压穿越能力，明确总谐波畸变率 $\leq 5\%$ 的量化控制指标，强制配备远程监控系统实现数据实时上传。这些标准既保障了配电网安全稳定运行，又倒逼企业提升设备适配性，推动农村光伏从“粗放建设”向“规范运营”转型，为产业高质量发展奠定基础。

2 农村分布式光伏并网关键技术体系

针对农村电网薄弱、负荷波动大的特点，需构建“转换-治理-协调-存储-聚合”五位一体的并网技术体系。该体系通过逆变器适配宽工况输入，以混合滤波与无功补偿治理电能质量，借微电网协调实现模式平滑切换，靠储能平抑光伏间歇性，经虚拟电厂聚合分散资源，全面提升供电稳定性与经济性。

2.1 并网逆变器适配技术

在分布式光伏系统中，并网逆变器主要功能是将光伏组件产生的直流电转换为交流电。该转换过程基于脉宽调制（PWM）技术，通过控制开关器件的通断，将直流电压分割成一系列脉冲，再经滤波处理后形成正弦交流电。在农村分布式光伏并网应用中，逆变器除完成电能转换外，还须实现最大功

率点跟踪 (MPPT)，以确保系统在不同光照条件下始终保持最大输出效率。同时，逆变器须符合电网接入要求，包括电压与频率适应性和孤岛效应保护等功能，以保障农村电网安全稳定运行^[6]。

针对农村电网电压波动大、负载分散等特点，逆变器选型须综合考虑多项因素。应选择具备宽电压输入范围和强抗干扰能力的型号，以增强对电网条件变化的适应性。在提升系统经济性与可靠性方面，提高逆变器效率是关键优化方向之一。目前，通过采用新型功率器件（如碳化硅 SiC）与改进拓扑结构，可有效降低能量损耗，延长设备寿命。图 2 展示了一种适用于农村场景的改进型 Y 源并网逆变器等效电路，通过宽增益、高效率、强适应性、高可靠性、低成本的特性，精准匹配了农村场景中能源波动大、电网不稳定、维护资源少、成本敏感等核心需求^[7]。此外，智能监控技术的应用为逆变器性能优化提供了新的途径，依托实时运行数据分析，可实现故障预警与运行调优，从而进一步提升系统整体性能。

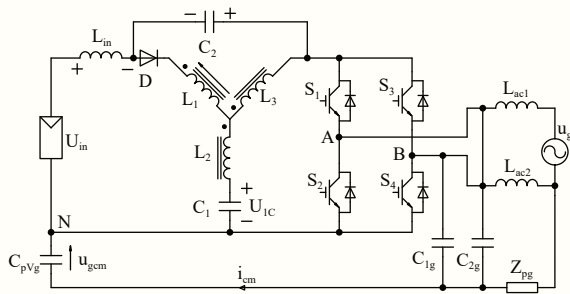


图2 改进型 Y 源并网逆变器等效电路示意图

2.2 电能质量治理技术

农村分布式光伏并网系统中，由于多个并网逆变器的共同作用，谐波问题成为影响电能质量的重要因素。逆变器输出电流的非线性特性会导致大量奇次谐波注入电网，进而引发电压畸变、设备过热等问题^[8]。为解决这一问题，滤波器技术被广泛应用于谐波治理。无源滤波器通过串联或并联电感、电容元件，对特定频率的谐波进行吸收或抑制；而有源滤波器则通过实时检测和补偿谐波电流，实现动态治理效果。在实际应用中，结合农村电网的负荷特性和谐波分布情况，合理选择和配置滤波器是确保电能质量的关键措施。

电压波动与闪变是农村分布式光伏并网对电网

稳定性的另一主要挑战。由于光伏发电功率受天气变化影响较大，其间歇性和波动性会导致电网电压出现频繁波动，尤其在负荷高峰时段尤为明显。为抑制这一问题，无功补偿技术被证明是一种有效的解决方案。通过安装静止无功发生器 (SVG) 或动态无功补偿装置 (SVC)，可快速调节系统无功功率，从而维持电压稳定。此外，优化光伏系统的接入方式和调度策略，也能够一定程度上减轻电压波动的影响，为农村电网提供更加可靠的供电保障^[9]。

2.3 微电网协调控制技术

农村分布式光伏微电网的基本架构通常包括光伏组件、储能装置、逆变器以及负荷等关键部分，并通过智能控制系统实现各组件的协调运行。根据运行模式的不同，微电网可分为并网运行和孤岛运行 2 种状态^[10]。在并网运行模式下，微电网与大电网相连，既能向电网输送多余电能，也能从电网获取补充电力；而在孤岛运行模式下，微电网脱离大电网独立运行，依靠自身的光伏发电和储能系统满足本地负荷需求。2 种模式之间的切换控制是实现微电网灵活运行的关键技术之一，须综合考虑负荷优先级、电能质量及系统稳定性等因素，确保切换过程的平滑过渡。农村常见微电网结构见图 3。

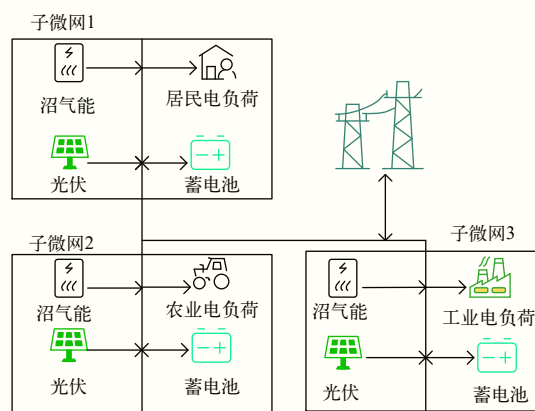


图3 农村常见类型微电网结构

微电网能量管理系统 (EMS) 是实现农村分布式光伏能量优化调度与分配的核心技术。EMS 通过对光伏出力、负荷需求以及储能状态的实时监测与分析，制定最优的能量分配策略，从而提升系统运行效率并降低运营成本。例如，在光照充足的白天，系统优先利用光伏发电满足负荷需求，并将多余电能存储至储能装置；而在夜间或光照不足时，

则由储能系统释放电能以弥补发电缺口。此外，结合虚拟电厂技术，EMS 还可以参与更大范围的电力市场交易，进一步拓展微电网的盈利空间，为农村分布式光伏的发展提供新的机遇。

2.4 储能集成技术

储能技术在农村分布式光伏并网中的应用，能够有效缓解光伏发电的间歇性和波动性问题，显著提升系统的供电可靠性和电能质量。目前常见的储能方式主要包括锂离子电池、铅酸电池和抽水蓄能等。其中，锂离子电池凭借高能量密度、较长循环寿命以及快速响应能力，在农村分布式场景中应用尤为广泛，特别适合应对日常充放电频繁的需求。储能系统的引入可在光伏出力不足时提供备用电力，在发电过剩时进行电能储存，从而实现对电网的有效支撑，减少弃光现象，并增强农村电网对可再生能源的接纳能力。

储能系统的集成设计须综合考虑容量配置、充放电策略及全生命周期经济性等因素。合理的容量设计能够在满足调峰、调频需求的同时控制初始投资成本；而智能充放电管理策略则可根据实时电价与负荷变化，实现经济优化运行。例如，在负荷低谷时段储存过剩电能，于用电高峰时段释放，不仅可平抑电网波动，还能利用峰谷差价降低用电成本。此外，储能系统还可与虚拟电厂技术结合，聚合分布式光伏与储能单元，参与需求响应或辅助服务市场，为农村光伏系统拓展收益来源，提升其整体经济性与市场参与度^[11]。

2.5 虚拟电厂聚合技术

虚拟电厂作为一种新兴的能源协同管理模式，通过先进通信技术与智能调控算法，将农村地区广泛分布的分布式光伏系统、储能单元及可控负荷进行聚合与协调，形成一个具备灵活响应能力的虚拟化电力实体。该系统能够作为一个整体参与电网调度和电力市场交易，显著提升分布式能源的可控性与可调度性。在农村应用环境中，虚拟电厂有效整合了原本分散的光伏发电资源，实现对间歇性出力的平滑控制，既提高了光伏自发自用率，也减轻了配电网的波动压力，增强了农村电网对高比例可再生能源的接纳能力^[12]。

此外，虚拟电厂为农村分布式光伏系统拓展了多元化的盈利渠道。通过参与电力现货市场、辅助

服务市场（如调频、备用容量等）以及需求响应项目，虚拟电厂可实现能量价值的优化与收益最大化。在政策支持与电力市场改革不断深化的背景下，该模式不仅提升了农村光伏项目的经济性，也推动了清洁能源的高效利用。未来，随着物联网和人工智能技术的进一步融合，虚拟电厂将在农村能源转型中发挥更为核心的作用，助力构建低碳、灵活的新型农村电力系统。

3 农村分布式光伏创新方向

农村分布式光伏的创新发展需从技术突破、运维升级、模式创新多维度协同发力。通过高效光伏组件研发突破效率瓶颈并强化环境适配性，依托智能运维技术提升系统可靠性与管理效率；以合作共建模式整合多方资源破解资金与技术难题，再通过“光伏+”融合模式实现与农业、扶贫等农村特色领域的深度耦合，形成技术支撑有力、运营机制灵活、产业协同增效的创新发展体系，为农村能源转型与乡村振兴注入持久动力。

3.1 高效光伏组件研发

当前，光伏组件效率提升面临材料性能局限、光学损耗突出及制造工艺复杂等技术瓶颈。作为主流技术的单结硅基光伏电池，其基于 Shockley-Queisser 极限的理论效率约为 29.4%，但实际应用中因材料杂质、晶体缺陷及表面光反射等问题，效率常低于这一上限。同时，农村高温、高湿、多沙尘的复杂气候易加速组件老化，显著降低发电稳定性。因此，研发适配农村环境的高效光伏组件成为技术创新核心方向。一方面可通过技术革新提升转换效率，如采用 TOPCon/TBC 等钝化接触技术降低表面复合损失，或开发硅基-钙钛矿叠层电池（利用钙钛矿可调带隙特性突破单结极限）；另一方面须优化组件耐候设计，通过抗腐蚀镀膜、强化边框密封及耐候性封装材料应用增强环境耐受性。结合搭载温度、功率衰减传感器的智能监控系统，实时采集运行数据并开展性能衰减分析，可进一步实现组件性能动态优化。这些技术措施既能提升系统发电效率，又能延长使用寿命，更好地满足农村能源需求^[13]。

3.2 智能运维技术应用

农村分布式光伏系统因分布分散、地处偏远，

传统人工巡检存在效率低、成本高、故障响应滞后等问题，亟须依托物联网、大数据等技术构建智能运维体系。物联网技术通过在光伏组件（部署温度、辐照度传感器）、逆变器（监测电压、电流、谐波参数）等关键设备嵌入感知节点，可实时采集运行状态数据并上传至云端平台进行多维度分析，实现故障早期预警与精准定位。大数据分析通过挖掘历史运行数据，构建基于机器学习的设备健康评估模型，能精准预测潜在故障风险（如逆变器电容老化、组件热斑风险），为运维决策提供科学依据。引入人工智能算法可进一步优化运维流程，例如利用 LSTM 神经网络实现光伏输出功率精准预测，辅助调度部门制定发电计划；结合粒子群优化算法优化运维人员派工路径与时间安排，可显著提升运维效率并降低人力成本。智能运维技术的应用有效提升了系统可靠性，为农村分布式光伏规模化推广筑牢技术支撑^[14]。

3.3 合作共建模式

农村分布式光伏项目推进中普遍面临资金筹措困难与专业技术匮乏的双重制约，合作共建模式为破解这些难题提供了有效路径。该模式通过整合政府、企业、金融机构及当地居民等多方主体，构建“风险共担、利益共享”的协同机制，明确各方在投资、建设与运营中的权责。具体而言，政府负责出台补贴政策、简化审批流程并提供基础配套支持；企业发挥技术优势，承担组件选型、系统集成及后期运维服务；金融机构通过绿色信贷、光伏信托等产品提供融资支持；当地居民则以屋顶使用权、闲置土地入股获取收益分成。这种多元化合作模式不仅缓解了资金压力，更通过发挥各方专业优势提升了项目质量与收益稳定性。同时，该模式可带动农村集体经济发展，增强居民对项目的参与感与认同感，为系统长期稳定运行提供保障^[15]。

3.4 “光伏+”融合发展模式

“光伏+”融合发展模式通过将分布式光伏与农村特色产业深度耦合，形成产业协同效应，是推动农村经济多元化发展的重要路径。其中“光伏+农业”模式通过在农业大棚顶部安装透光率适配的光伏组件，实现“上发电、下种植”的土地立体利用。例如在粮食主产区，推广光伏电力直供农田机井灌溉、大棚温控设备的电气化模式，既提升农业生产

效率，又降低传统化石能源依赖。“光伏+扶贫”模式则通过在脱贫地区建设户用或村级光伏电站，为低收入群体提供持续稳定的收益来源，助力乡村振兴战略实施。此外，“光伏+储能”（通过储能系统平抑出力波动、提升消纳能力）、“光伏+充电桩”（满足农村新能源汽车充电需求）等创新模式正逐步落地，这些模式不仅提升了分布式光伏的综合价值，更推动了农村能源结构绿色转型，为“双碳”目标实现贡献农村力量^[16]。

4 虚拟电厂框架下的盈利模式探索

4.1 虚拟电厂基本概念与运行原理

虚拟电厂是一种先进的电力系统协调与控制技术，其核心在于通过聚合分布式光伏、风电、储能系统等分散能源资源，形成一个具备灵活响应能力的整体单元，参与电力市场交易和电网调度^[17]。该技术依赖先进通信与优化算法，实现对分布式资源的集中监控与协同调度，提升系统的可控性与经济性。虚拟电厂不仅能够执行传统电厂的发电与供电职能，还可借助需求响应、储能调节等方式提供调频、备用等辅助服务，增强电力系统的稳定性和运行效率。此外，基于区块链等信息技术，虚拟电厂支持数据共享与社区化治理机制，确保参与主体间交易透明、话语权平等，为分布式能源的大规模集成与应用提供了关键支撑。图4为一种适用于农村分布式能源管理的虚拟电厂典型控制系统结构。

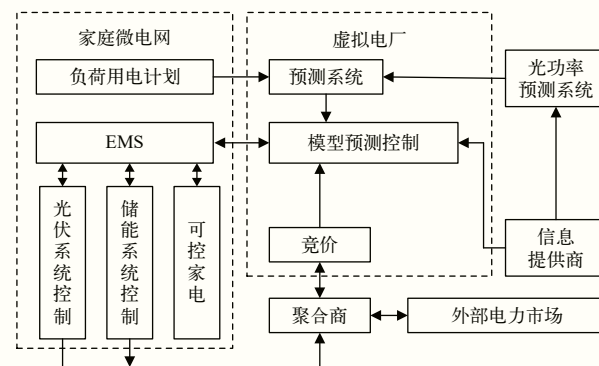


图4 一种适用于农村分布式能源管理的虚拟电厂控制系统

4.2 虚拟电厂下农村分布式光伏资源整合

在农村能源结构转型背景下，分布式光伏作为可再生能源利用的关键载体，其空间分散性与装机小规模性构成显著技术瓶颈。单节点光伏系统通常

难以满足电力市场的最小交易单元要求，且孤立运行模式无法响应电网调度的动态调节需求，导致清洁能源资源的利用效率偏低，制约了其商业化价值释放。虚拟电厂技术通过构建分层交互架构与多维度聚合机制，为解决上述问题提供了系统性方案。该技术通过集群化管理实现分布式资源的规模化整合，形成“分散发电-集中调控-市场参与”的技术闭环。其核心整合逻辑体现在2个维度：在空间组织层面，采用地理分区原则划分虚拟电厂子单元，每个子单元覆盖10~20个行政村，形成区域化管控网络；在数据交互层面，基于IEEE 1547等标准化通信协议，建立分布式光伏、配套储能设备与中央监控平台的实时数据链路，保障运行状态的精准感知。在此基础上构建的“产消者-聚合商-电网”3层交互体系，通过聚合商的专业化运营显著提升光伏消纳效率，使其具备参与辅助服务市场的技术条件；同时为电网提供分布式灵活调节资源，增强电力系统的安全稳定运行能力，为农村能源革命与乡村振兴战略实施提供技术支撑。

4.3 基于虚拟电厂的市场交易盈利途径

虚拟电厂作为农村分布式光伏资源聚合与市场化运营的核心载体，为其开辟了多元化的盈利路径，显著提升了分布式能源的经济性与市场竞争力。在电力市场交易层面，农村分布式光伏通过虚拟电厂聚合参与电力现货市场与辅助服务市场，可实现收益最大化。在电力现货市场中，虚拟电厂依托精准的市场电价预测模型与分布式电源响应容量评估技术，制定动态投标报价策略，通过优化出力曲线与交易时机选择，实现度电收益的精准提升。在辅助服务市场领域，虚拟电厂可组织农村分布式光伏资源提供调频、调压等辅助服务，通过快速响应电网调节需求获取服务收益，有效盘活了分布式能源的灵活性价值。值得注意的是，基于区块链技术构建的市场主体信誉评估系统，能够量化记录各分布式光伏节点的服务贡献度，并将评估结果直接映射到收益分配机制中，显著提升了农村分布式光伏主体参与市场交易的积极性与规范性^[18]。

在增值服务领域，虚拟电厂为农村分布式光伏拓展了多维度的收益增长点，主要体现在需求响应与储能服务2大方向。在需求响应场景中，虚拟电厂通过智能终端实现对农村分布式光伏出力与本地

用电负荷的协同调控，精准参与电网削峰填谷、负荷平移等需求侧管理项目，依据响应量与执行效果获取电网企业的需求响应补偿收益。在储能服务方面，虚拟电厂通过集中式或分布式储能资源的整合，构建“光伏-储能”协同运行系统，通过优化储能充放电策略实现峰谷套利、容量租赁等收益，尤其在共享储能模式下，农村分布式光伏可通过储能资源的集约化利用进一步降低度电成本，拓展盈利空间。此外，随着碳市场机制的逐步完善，虚拟电厂可依托分布式光伏的减排量核算，通过碳排放权交易为农村分布式光伏主体创造额外收益，形成绿色低碳的盈利新渠道。虚拟电厂参与市场化交易的基本框架见图5。

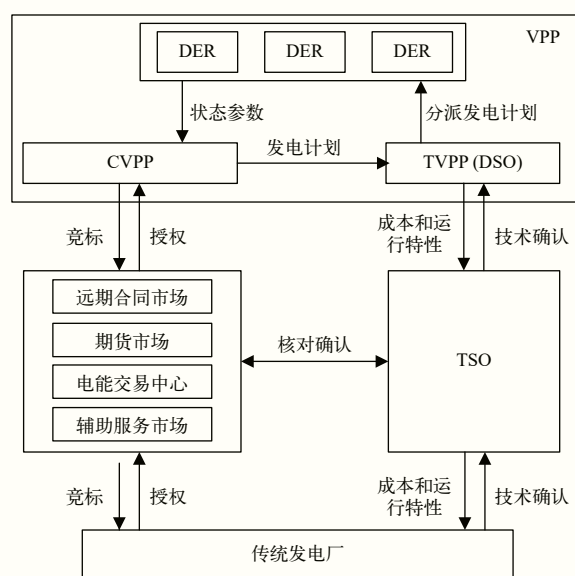


图5 虚拟电厂参与市场化交易的基本框架图

5 结语与展望

随着136号文持续推进，农村分布式光伏正迎来新的发展机遇。一方面，政策持续优化有望为其提供更多补贴、税收优惠等支持措施，从而吸引更多投资并推动项目规模化建设。另一方面，技术突破也在不断拓展其发展空间，例如高效光伏组件的研发显著提升能源转换效率，智能运维技术的应用大幅降低运维成本。

本文聚焦136号文背景下农村分布式光伏的开发与并网关键技术，探讨并网逆变器技术、电能质量治理技术、微电网控制技术以及储能集成与虚拟电厂技术的应用，为高效并网提供可行的技术路径。

文章提出技术创新与模式创新的方向，包括高效光伏组件研发和智能运维等。通过分析虚拟电厂模式下分布式光伏的潜在盈利方式，揭示了电力市场交易与增值服务带来的收益可能性，为提升其经济效益提供了可行路径。然而，农村分布式光伏发展仍面临诸多挑战。市场竞争加剧可能导致投资回报率下降，电网适应性问题也可能制约其大规模接入。此外，如何在实践中有效整合分散的分布式光伏资源，并通过虚拟电厂实现规模化调节能力，仍须进一步探索。这些问题的解决将为农村分布式光伏的未来发展奠定坚实基础，也为后续研究与实践提供重要参考。

参考文献

- [1] 段佳丽,刘琴,刘欣仪.“双碳”目标下成渝双城经济圈农村能源消费结构转型升级研究[J].农村经济与科技,2024,35(23):236-238,262.
- [2] 祁波,郭锐锋,王超,等.农村电网各级变压器容量配置分析[J].农村电气化,2019(7):47-48.
- [3] 陈蓉,任彦辉,曾子晨.高渗透率分布式光伏并网稳定性分析及改进控制策略[J].农村电气化,2025(4):57-62,38.
- [4] 程明.基于新能源机制电价对电力市场的再认识[J].中国电力企业管理,2025(13):55-58.
- [5] 赵景涛,张颖媛,郑舒,等.大规模分布式光伏接入下低压配电网综合治理设备的研究与应用[J].农村电气化,2024(12):1-5.
- [6] 冉岩,刘鸿鹏,刘宽,等.改进Y源并网逆变器的能量成型控制策略[J].电网技术,2018,42(10):3369-3376.
- [7] 潘其超,徐刚.基于并网光伏逆变器农村配电网控制策略分析[J].电力设备管理,2024(19):85-87.
- [8] 武光升,杨锐,孙子寒.基于分布式光伏规模化开发的电能质量管理研究[J].农村电气化,2024(10):33-37.
- [9] 印希宇,崔涵,陈小月,等.计及分布式光伏故障穿越能力的配网广义负荷建模及参数辨识[J/OL].电力系统自动化,1-16.[2025-08-27].
- [10] 曾福顺.浅析农村新型电力系统建设方案[J].农村电气化,2024(11):15-19.
- [11] 王延杰,黎清姚,张震业,等.新型电力系统下的农村电网特征与规划关键技术[J].电工技术,2024(S1):348-350.
- [12] 李文浩,毛承雄,王丹,等.农村背景下基于需求响应的虚拟电厂博弈策略[J].电力系统及其自动化学报,2024,36(6):43-53.
- [13] 施光辉,刘小娇,涂晔,等.几种新型钙钛矿太阳能电池的概述[J].云南师范大学学报(自然科学版),2015,35(5):16-22.
- [14] 孔繁钢.建设具有韧性的边远地区新型农村电力系统[J].农村电气化,2025(7):13-15.
- [15] 高学明,汪洋.合作开发户用光伏项目收入核算探讨[J].财务与会计,2023(17):56-58.
- [16] 李杰.云南省分布式光伏开发现状及制约因素探讨[J].农村电气化,2024(1):7-10.
- [17] 毕颖颖,徐龙江,刘慧,等.虚拟电厂聚合各类资源的盈利模式介绍[J].农村电气化,2025(7):74-76.

- [18] 李嘉媚,江佳美,杨秋楠,等.基于定制化套餐的虚拟电厂辅助服务激励机制与关键技术[J/OL].电力系统自动化,1-18.[2025-08-24].

作者简介

张锋(1977—),男,硕士,IET Fellow、正高级工程师,研究方向为电力系统运行与控制、虚拟电厂与主网协同等,E-mail:10744587611@qq.com.

张怡(1977—),女,硕士,副教授,研究方向为新能源利用技术、无人机在电力领域应用等,E-mail:zhangyizs@yeah.net.

张博涵(1994—),男,硕士,工程师,研究方向为继电保护及自动化,E-mail:zhangbohan1994@163.com.

莫建国(1984—),男,硕士,高级工程师,从事电力系统运行与控制方面的生产与研究, E-mail: mojianguo@zj.sgcc.com.cn.

(责任编辑:张峰亮)

资讯

宁夏银川公司：加快推进圆形沉井电缆工程

2025年8月6日,由国网宁夏银川供电公司承建的学院至八一110kV电缆线路工程7号沉井施工取得重要进展,标志着宁夏电力行业首例圆形沉井电缆工程进入决战决胜阶段。该工程位于银川西夏区学院路与文昌北街交叉口,是国网银川供电公司重点建设项目,建成后将满足西夏区用电负荷增长需求,提升区域电网供电可靠性。

作为本次地下工程施工技术的创新突破,7号电缆井采用圆形沉井设计。与相比传统矩形沉井相比,圆形沉井占地面积更小,地下双向顶管顺利接入电缆井更方便,并具有结构受力均匀、适应复杂地质条件等显著优势。此外,圆形结构便于优化电缆走向,降低转角敷设难度,为后续电缆施工创造有利条件。面对地质条件复杂、作业空间受限等挑战,国网银川供电公司项目团队创新采用盘扣式脚手架,提升搭设效率及结构稳定性;通过精细化模板拼装以及机械化与人工协同的转运模式,优化施工流程,确保工程高效推进。

项目团队严格落实标准化管理要求,施工过程全面加强高空作业防护,规范安全网、踢脚板及临边防护措施,通过增设警示标识,强化围挡加固,实施专人巡查制度,确保作业环境可控在控。在质量管控方面,严格执行工艺标准,对沉井下沉精度、混凝土浇筑等关键环节实施全过程监督,确保工程“零缺陷”投运。

信息来源:国家电网有限公司