

家用光伏发电与电动汽车充电结合模式探索

王以军

(江苏鑫迈德电力工程有限公司, 江苏 苏州 215100)

摘要 在全球能源转型与交通电气化加速推进的背景下, 家用光伏发电与电动汽车充电的协同利用, 已成为提升可再生能源消纳效率、降低碳排放的重要途径。本研究阐明了二者结合的技术基础, 涵盖光伏系统、充电设备及能量管理等核心构成, 还梳理出离网独立、并网协同与智能优化(V2G融合)三种主流模式, 揭示了它们的运行逻辑与适用场景; 剖析了协同调度精度不足、初始投资偏高、标准政策缺失等关键问题, 进而提出通过智能调度技术升级、经济激励机制创新与标准化体系建设推动二者高效融合, 以期为家庭能源系统的低碳化与智能化发展提供有益参考。

关键词 家用光伏; 电动汽车充电; 车网互动(V2G); 能量管理系统

中图分类号: TM61; U469.7

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.01.023

0 引言

在全球能源转型进程中, 可再生能源替代与交通电气化是两大核心方向。家用光伏发电作为分布式清洁能源, 虽具备灵活环保的突出优势, 却存在出力不稳定的问题, 容易造成能源浪费与电网冲击。与此同时, 电动汽车充电需求正快速增长, 若单纯依赖电网供电, 不仅会加剧电网负荷压力, 还会带来间接碳排放。将家庭光伏与电动汽车充电相结合, 实现“自发自用”, 既能有效提升光伏能源消纳率、降低用车成本, 还可借助车网互动技术参与电网调峰, 增强电力系统灵活性。当前相关技术基础已初步成型, 但协同调度机制、经济收益平衡及政策支持力度等方面仍需突破, 亟待通过系统性研究推动新型电力系统建设。

1 家用光伏发电与电动汽车充电结合的技术基础

1.1 家用光伏发电系统核心构成

家用光伏发电系统一般由光伏组件、逆变器、配电箱和监控系统共同组成, 其中光伏组件是能量转换的起点, 负责将太阳能转化为直流电能, 它的转换效率与运行稳定性直接关系到整个系统的发电能力。逆变器作为核心转换设备, 能把光伏组件产生的直流电转化为符合家庭用电需求的交流电, 就连电动汽车充电所需的电能质量也能通过它得到保障。配电箱承担着过流保护、漏电保护等关键安全功能, 为系统稳定运行筑牢安全防线, 监控系统则实时采集发电数据与设备运行状态, 为系统运维和能源调度提供可靠的数

据支撑^[1]。相较于集中式光伏电站, 家用光伏系统容量更小、接入电压等级更低, 对电网的冲击也相对较弱, 这种特性让它特别适合与分散的电动汽车充电需求相结合, 从而实现能源的本地化平衡。

1.2 电动汽车充电系统技术特性

电动汽车充电系统按功率等级分为慢充和快充两类, 家用场景中慢充系统更为常见, 其核心设备是交流充电桩, 这种充电桩自身没有整流功能, 需要依靠电动汽车的车载充电机将交流电转为直流电, 才能为动力电池补充电量, 它结构简单、安装成本低且对电网冲击小, 与家用光伏系统的出力特性恰好匹配。随着车网互动技术不断发展, 具备双向充放电功能的V2G充电桩开始兴起, 这类充电桩不仅能实现电网对电动汽车的充电, 还能在特定条件下把电动汽车动力电池储存的电能反向输送到家庭或公共电网, 让电动汽车从单纯的能源消耗者转变为“移动储能单元”, 为家用光伏能源的削峰填谷和电网辅助服务创造可能。

1.3 二者结合的核心技术支撑

家用光伏与电动汽车充电结合的核心技术支撑涵盖能量管理系统、储能技术及智能控制技术, 其中能量管理系统扮演着“能源管家”角色, 它通过实时采集光伏出力、电动汽车充电需求、电网电价等多维度数据, 动态制定能源分配策略, 实现光伏直供、储能调峰、电网兜底的协同运行。储能技术用于平抑光伏出力的波动性, 在光伏出力过剩时储存电能, 在光伏出力不足或充电需求高峰时释放电能以保障充电服务的连续

作者简介: 王以军(1989-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 电力工程。

性，家用场景中常用的锂离子电池在能量密度、循环寿命与安全性上已能满足需求。智能控制技术则依托物联网、大数据分析等手段，实现对光伏、充电及储能系统的精准控制，确保各设备协同运行与安全稳定。

2 家用光伏发电与电动汽车充电结合的主流模式

2.1 离网独立模式

家用光伏与电动汽车充电的离网独立模式，是指两者构成不连接公共电网的独立能源闭环，完全依靠光伏能源满足充电需求，必要时由储能系统补充能源，其核心特征是能源自给自足，不会受电网供电质量和电价政策的影响。在技术配置上，该模式需要配备容量匹配的储能系统，以此解决光伏出力间歇性问题，确保充电需求稳定供给。而能量管理系统则承担核心调控作用，它通过预判光伏出力与充电需求，合理安排储能系统充放电时机，避免光伏能源浪费与充电中断。这种模式适合电网覆盖薄弱或电价较高的偏远地区，只是受储能容量与光伏出力限制，难以满足大规模或紧急的充电需求。

2.2 并网协同模式

并网协同模式是目前应用最广的能源结合模式，核心是让家用光伏系统、电动汽车充电系统与公共电网保持连接，构成光伏、电网、充电联动的多元能源供给结构，其中能量管理系统会依据光伏实时发电量和充电需求，动态优化能源的供给路径。当光伏发电量充足且能满足充电需要时，会优先用光伏电力直接为车辆充电，多余的电能既可以储存到储能系统中，也能并入公共电网^[2]；当光伏发电量不足时，公共电网就会及时补充供电，确保充电过程不会中断。这种模式不用依赖大容量储能系统，能有效降低初始投资成本，同时通过与电网的互动实现能源灵活调配，大幅提升系统的可靠性与经济性，而峰谷电价差的存在为光伏能源的错峰利用创造了条件，让该模式的经济价值得到进一步提升。

2.3 智能优化模式（V2G 融合模式）

智能优化模式是并网协同模式融入 V2G 技术后的高级形态，构建“光伏发电—汽车充电—电网互动”的全链条协同体系。电动汽车在此模式下不仅是光伏能源的消费终端，更凭借双向充放电功能参与电网调峰填谷和应急供电，成为能源系统中灵活的调节资源。其核心运行逻辑清晰明确：在电网负荷低谷或光伏出力高峰时，电动汽车可吸纳低价电网电能或富余光伏电能完成充电并储存能量；而当电网负荷攀升或光伏出力不足时，这些储存的电能又能反向输送至电网或

家庭负载，让用户获得峰谷价差收益或电网辅助服务补偿。能量管理系统通过精准预测光伏出力、电网负荷及电价波动，制定最优充放电策略，实现经济效益与能源利用效率的双重最大化。这种模式深度挖掘了电动汽车动力电池的储能潜力，显著提升了家用光伏能源的综合价值，是二者结合的未来主流方向，同时也对 V2G 充电桩、智能调度技术及相关标准规范提出了更高要求。

3 家用光伏发电与电动汽车充电结合的关键问题

3.1 协同调度与稳定性不足

技术层面的核心问题聚焦系统协同调度精度不足与运行稳定性欠缺，现有能量管理系统的调度策略多基于静态规则，缺乏对光伏出力、充电需求的动态预测能力，难以实现能源的精准匹配。光伏出力受日照、天气等自然因素显著影响，电动汽车充电需求则与用户出行习惯密切相关，二者的波动性容易导致光伏出力过剩时充电需求不足、充电需求高峰时光伏出力不足的错配问题。系统运行稳定性同样面临挑战，当光伏出力骤变或电动汽车突发充电需求时，易造成家庭电网电压、频率波动，进而影响用电设备安全。此外，在 V2G 模式下，电动汽车频繁充放电可能影响动力电池的循环寿命，如何在保障电池安全的前提下实现双向互动，已成为当前技术攻关的重点方向^[3]。

3.2 初始投资与收益平衡难题

经济因素是阻碍家庭用户参与的关键，核心问题在于初始投资成本高且收益回报周期长，家用光伏、充电桩特别是 V2G 充电桩与储能系统的组合投入，对普通家庭来说仍存在不小压力，尽管光伏上网电价和电动汽车运行成本的节约能带来一些收益，但受系统容量与利用效率限制，整体收益水平偏低，这就使得投资回报周期拉长，直接削弱了用户的参与意愿。收益机制的不完善则进一步放大了这种经济障碍，当前 V2G 模式下的辅助服务收益、峰谷套利收益缺乏明确计量与结算标准，用户难以充分获得电动汽车参与电网互动的经济价值，进而影响了智能优化模式的推广应用。

3.3 支撑体系不完善

政策与标准体系的不完善主要体现在三方面：一是并网标准不统一，家用光伏系统与 V2G 系统的并网接入缺乏统一技术标准与管理规范，不同设备厂商的产品兼容性差，既增加系统集成难度也提升运行风险；二是政策激励不足，现有政策多聚焦光伏系统与电动汽车的单独补贴，针对二者结合模式的专项补贴、电价优惠等激励措施较少，难以引导用户主动参与；三

是监管机制缺失，V2G模式下电动汽车与电网的双向互动涉及能源交易、电网安全等多重问题，当前缺乏明确监管主体与监管规则，制约模式的规范化发展。

4 推动家用光伏发电与电动汽车充电高效结合的路径探索

4.1 提升协同调度与运行稳定性

技术优化的核心在于突破智能调度与系统稳定两大关键技术。在智能调度领域，需着力提升能量管理系统的智能化程度，将机器学习、大数据分析等先进技术融入其中，实现对光伏出力与充电需求的精准预测，进而构建预测、调度、反馈的闭环调控机制，通过动态调整光伏直供、储能充放及电网交互的比例达成能源最优配置，同时推动V2G技术与储能技术的融合应用，借助电动汽车动力电池的分散储能潜力替代部分集中式储能设备，有效降低系统投资成本。在运行稳定性层面，既要加强设备技术升级，也要做好系统集成优化，光伏逆变器与充电桩需提升电压调节和谐波抑制能力以减少对电网的冲击。动力电池厂商则应开发适配V2G模式的电池技术，通过优化电池管理系统在保障电池寿命的前提下提升充放电循环性能。此外，还需建立统一的设备通信协议与数据标准，以此增强不同设备的兼容性并提升协同运行效率。

4.2 强化经济激励与市场化运作

提升用户参与意愿，核心在于构建完善机制，其中合理的收益分配机制与市场化交易机制尤为关键，二者共同构成用户参与的核心保障。在收益分配上，需明确V2G模式下用户的收益来源，既包括光伏自用节省的电费、峰谷电价差带来的套利收益，也涵盖电网辅助服务给予的补偿等。电网企业应构建透明的计量与结算体系，确保用户收益及时足额到账，同时推动车企与电池厂商建立电池质保兜底机制，通过经济补偿或延长质保等方式，彻底打消用户对电池损耗的顾虑^[4]。在市场化运作层面，可探索打造区域化家用光储充交易平台，鼓励用户借助平台深度参与能源交易，如光伏出力富余的用户可通过平台将多余电能出售给周边充电需求大的用户，或参与电网需求响应服务，实现能源市场化配置与价值最大化。此外，还应推动充电服务运营商参与模式创新，通过光伏加充电加储能的一体化运营，减轻用户初始投资压力，同时提升服务专业性。

4.3 完善标准体系与激励措施

家用光伏与V2G系统结合发展的政策保障，需聚焦标准制定、激励引导与监管规范三大核心，通过系

统性举措为产业发展筑牢支撑。在标准制定上，应加快完善技术标准体系，由行业主管部门牵头联合设备厂商、科研机构，共同敲定家用光伏系统与V2G系统的并网标准、设备兼容标准及数据通信标准等关键规范，推动全产业链实现标准化发展。在激励引导方面，需强化政策扶持力度，出台针对二者结合模式的专项补贴政策，对V2G充电桩、储能系统的安装给予额外资金支持；同时优化电价政策，进一步扩大峰谷电价差为用户创造峰谷套利空间，并将家用光储充系统纳入电网辅助服务市场，明确用户参与调峰填谷的补偿标准^[5]。监管规范层面则要建立健全监管机制，清晰界定能源监管部门、电网企业、用户等各方权责边界，既加强V2G交易安全监管确保电网稳定运行，又规范市场交易行为防范不正当竞争、保障用户合法权益，同时鼓励地方开展试点示范，总结可复制、可推广的经验模式，为全国范围内的规模化推广奠定坚实的基础。

5 结束语

家用光伏发电与电动汽车充电的深度融合，既实现了清洁能源的本地化高效利用，又推动了电力系统的统筹调度，光伏产生的电能会优先供给汽车充电，这大幅提高了电能自发自用的比例，降低了对电网的依赖和日常用电成本。而引入V2G技术后，电动汽车还能作为移动储能单元参与电网调峰填谷，进一步挖掘系统的灵活性与经济价值。当前这一模式虽在技术协同、成本控制和制度保障上仍有挑战，但随着智能算法升级、电池成本下降及政策体系完善，必将在新型电力系统建设中发挥关键作用。未来需加强跨领域协同创新与规模化试点，加速家庭能源生态的绿色升级。

参考文献：

- [1] 陈浩然,赵晓丽.考虑分布式光伏发电的电动汽车充电策略研究[J].中国管理科学,2023,31(04):161-170.
- [2] 冯永康,王梦欣.分布式光伏发电的电动汽车充电策略[J].大众汽车,2024(02):16-18.
- [3] 冯富国.协同光伏发电的电动汽车充放电控制策略[D].大连:大连交通大学,2023(07):75-76.
- [4] 王呈轩,宫瑞邦,樊艳芳,等.以光伏为电源的无线充电式新能源汽车控制研究[J].太阳能学报,2025,46(06):306-313.
- [5] 华一飞.计及分布式电源接入及电动汽车充电的配电网规划探讨[J].中国科技期刊数据库工业A,2023(02):23-24.