

智能电网中光伏驱动的 7 千瓦充电枪能效提升分析

杨世宇, 季咪咪, 徐梓璐, 马玉鹏, 赵庆英

新疆应用职业技术学院 新疆伊犁哈萨克自治州

【摘要】在双碳目标引领与能源结构转型加速的大背景下, 如何提升电动汽车充电过程中的能效水平, 已成为智慧能源系统研究的重要方向。光伏驱动的 7 千瓦家用充电枪, 作为分布式能源消纳与交通电气化融合的关键节点, 其能效优化不仅关系到电动汽车用户的经济成本, 也直接影响可再生能源的利用效率与电网负荷的动态平衡。针对当前光伏发电的间歇性与电动汽车充电的随机性不匹配问题, 本文基于“捕能”理念, 构建以光伏优先、储能协同、电网调平为核心的智能能量管理模型, 系统分析 7kW 充电枪在光储充场景中的工作机制、动态调度策略及能效提升路径, 旨在为构建绿色、高效、智能的家庭充电系统提供技术支持与理论依据。

【关键词】智能电网; 光伏驱动; 7 千瓦充电枪; 能效提升

【基金项目】杨勇博士科研创新团队课题 (项目编号: XJXM202411406)

【收稿日期】2025 年 5 月 16 日

【出刊日期】2025 年 6 月 20 日

【DOI】10.12208/j.sdr.20250069

Analysis of energy efficiency improvement of 7-kilowatt charging gun driven by photovoltaics in smart grid

Shiyu Yang, Mimi Ji, Ziju Xu, Yupeng Ma, Qingying Zhao

Xinjiang Applied Vocational Technical College, Ili Kazakh Autonomous Prefecture, Xinjiang

【Abstract】 Under the backdrop of the dual-carbon goal and the accelerated transformation of the energy structure, how to improve the energy efficiency level during the charging process of electric vehicles has become an important direction in the research of smart energy systems. The 7-kilowatt household charging gun driven by photovoltaics, as a key node for the integration of distributed energy consumption and transportation electrification, its energy efficiency optimization not only relates to the economic costs of electric vehicle users, but also directly affects the utilization efficiency of renewable energy and the dynamic balance of grid load. In response to the mismatch between the intermittency of current photovoltaic power generation and the randomness of electric vehicle charging, this paper, based on the "energy capture" concept, constructs an intelligent energy management model centered on photovoltaic priority, energy storage coordination, and grid leveling. It systematically analyzes the working mechanism, dynamic scheduling strategies, and energy efficiency improvement paths of the 7-kilowatt charging gun in the photovoltaic storage charging scenario, aiming to provide technical support and theoretical basis for the construction of a green, efficient, and intelligent home charging system.

【Keywords】 Smart grid; Photovoltaic drive; 7-kilowatt charging gun; Energy efficiency improvement

在全球能源结构向绿色低碳转型的大趋势下, 交通电气化和分布式可再生能源利用正呈现深度融合的发展态势。电动汽车保有量快速增长对电网造成新的负荷挑战, 而太阳能等可再生能源虽然发展

迅速, 却因其出力具有间歇性和不稳定性, 导致消纳效率偏低, 弃电现象频发。与此同时, 7 千瓦家用充电枪作为中功率充电设备, 其在家庭能源系统中的应用日益广泛, 成为连接电动汽车与家庭分布式

作者简介: 杨世宇 (1996-) 男, 回族, 宁夏西吉县人, 硕士, 研究方向电气自动化技术; 季咪咪 (1990-) 女, 汉族, 江苏省徐州市人, 本科, 讲师, 研究方向电气自动化技术; 徐梓璐 (2004-) 男, 汉族, 山东省菏泽郓城县人, 大专, 研究方向电气自动化; 马玉鹏 (2005-) 男, 回族, 甘肃省张家川人, 专科; 赵庆英 (2004-) 男, 汉族, 河南省商丘市民权县人, 大专, 研究方向电气自动化技术。

能源的重要载体。如何在保障充电效率和安全性的基础上, 实现光伏等清洁能源的优先利用与动态调度, 提升整体能源系统的响应性与能效水平, 成为当前智慧能源领域亟需解决的关键问题。

1 智能电网中光伏驱动的 7 千瓦充电枪能效提升的主要基础

智能电网为实现分布式能源与电动汽车高效协同提供了关键支撑, 其信息感知、实时调控和双向能量交互能力构成了光伏驱动 7 千瓦充电枪能效提升的核心基础。一方面, 依托智能电网的数据交互与动态定价机制, 可实现充电过程与光伏发电出力的精准匹配, 提升本地消纳率; 另一方面, 借助先进的能量管理系统与 MPPT 控制技术, 充电枪能够根据光照强度、储能状态和用户行为智能调整充电功率, 优化能量流向和转换效率^[1]。此外, V2H 等双向供电模式的引入, 也为充电枪从“用能终端”向“能量枢纽”转变奠定了基础, 进一步拓展了其在家庭能源系统中的能效潜力。

2 智能电网中光伏驱动的 7 千瓦充电枪能效提升的实践意义

在智能电网架构下推进光伏驱动的 7 千瓦充电枪能效提升, 具有显著的实践意义。通过构建光储充一体化系统, 不仅能够有效缓解电动汽车集中充电对电网造成的负荷冲击, 还能提高可再生能源的就地消纳率, 减少弃光现象, 推动清洁能源高效利用。同时, 该模式通过智能调度策略降低峰时电力成本, 为用户提供更经济的充电选择, 提升家庭能源系统的运行效益。更重要的是, 光伏驱动充电过程的碳排放水平显著低于传统电网供电方式, 有助于加速交通领域的绿色转型, 增强“双碳”目标背景下城市能源系统的可持续性韧性。

3 智能电网中光伏驱动的 7 千瓦充电枪能效提升的技术难点

3.1 光伏输出波动性对充电稳定性的干扰

光伏发电受日照强度、天气变化等外部因素影响较大, 具有明显的间歇性与随机性。在光照突变或云层遮挡等场景下, 输出功率可能迅速下降, 造成充电过程的不连续性甚至中断, 影响用户体验与电池充电效率。尽管引入储能系统可部分缓解该问题, 但储能容量有限, 且存在 SOC 状态约束, 使得无法完全消除光伏波动性对充电稳定性的干扰。因

此, 亟需通过快速预测与调度机制提升系统的抗波动能力, 实现光伏供能的高效利用与充电过程的稳定衔接。

3.2 电能变换与调控系统的响应速度限制

在光伏驱动的智能充电系统中, DC/DC 变换器、逆变器及 MPPT 控制器是能量调节的核心部件, 其响应速度直接影响系统对电压、电流波动的适应能力。然而, 现有硬件系统在快速响应突发工况方面仍存在一定滞后, 尤其在处理光伏功率快速下降与负载快速变化的双重挑战时, 可能出现能量损耗或过载风险。同时, 控制系统在频繁启停状态下的稳态控制能力也面临挑战, 制约了整体系统的动态调节效率与运行安全性。

3.3 能量管理策略与智能调度算法不完善

高效的能量管理策略是实现光伏驱动 7 千瓦充电枪能效提升的关键, 但当前智能调度算法多基于静态参数或单一目标函数设计, 难以实时兼顾充电需求、电价变化、天气预测与储能状态等多维因素的动态演化^[2]。尤其在分布式家庭能源场景下, 用户行为具有显著的不确定性, 传统规则型策略难以应对复杂场景下的资源分配优化问题。因此, 亟需引入强化学习、多目标优化等智能算法, 提升系统的自适应性和预测性, 实现多源协同下的能效最优。

3.4 多源耦合接口的电气兼容性问题

光伏系统、储能单元、电网与充电枪在耦合过程中涉及多种电压等级、频率标准与通信协议, 存在电气兼容性与接口协同控制难题。若接口未能实现统一标准, 容易引发谐波干扰、逆变器失步、功率回馈异常等问题, 影响整体系统稳定运行。此外, 充电枪与电动汽车之间的通信协议若与能量管理系统不兼容, 也会导致调度指令失效或反馈信息滞后, 制约智能充电功能的正常实现。因此, 建立标准化、模块化的接口设计方案, 对保障系统协同运行至关重要。

3.5 设备热管理与功率密度优化难以兼顾

为提升 7 千瓦充电枪的充电效率与能量传输能力, 需在有限体积内集成高功率密度的电子部件, 如碳化硅 MOSFET、高频变压器等。然而, 高密度集成带来显著的热负荷上升, 若热管理措施不足, 易导致器件温升过快、效率下降甚至损坏风险。现有冷却系统在成本、体积与散热性能之间难以取得

理想平衡, 限制了充电设备在小型化、高效化方向的进一步突破。因此, 亟需在功率器件热设计、电路布局优化与智能散热控制等方面协同推进, 以实现能效提升与设备可靠性的双重保障。

4 智能电网中光伏

4.1 优化输出曲线稳定功率传输

为缓解光伏发电波动性对充电稳定性的影响, 需通过优化输出功率曲线平滑能量传输过程。具体方法包括在 MPPT 控制策略中引入预测补偿机制, 实现光照强度变化趋势的快速判断与提前调节, 同时结合电容储能与低压缓冲回路抑制短时功率突变, 降低电流冲击对充电设备的干扰。此外, 还可通过多模块光伏阵列并联、分布式追踪技术等方式构建具备冗余补偿能力的输出系统, 从而在不增加额外储能压力的前提下, 实现持续、稳定的能量供给。

比如, 在“分布式光伏柔性接入家庭充电系统”项目中, 工作人员需要通过在 MPPT 控制逻辑中嵌入动态补偿算法, 对实时光照数据进行多窗口平均与梯度分析, 从而生成平滑的功率输出曲线。系统设计中集成了小容量超级电容模块, 作为微秒级响应的电流缓冲元件, 减少光照突变时对充电枪输入端的冲击。同时, 采用多组光伏组件异步切换策略, 使能量输出具有更高的冗余性与持续性, 有效支撑 7 千瓦充电枪在家庭场景下的功率稳定运行, 确保光伏波动对充电过程的干扰被有效抑制。项目运行数据表明, 该输出曲线优化措施可将充电电流波动幅度控制在 $\pm 3\%$ 以内, 极大提升了充电系统的稳定性与用户体验^[3]。

4.2 升级变换结构提升响应效率

提升系统对能量波动的快速响应能力, 需对电能变换架构进行优化升级。采用高频隔离型 DC-DC 变换器配合碳化硅 (SiC) 或氮化镓 (GaN) 功率器件, 不仅可显著提升能量传输效率, 还能减少器件的开关损耗, 缩短响应时间。此外, 在控制策略上引入多模切换机制, 实现光伏直驱、电网补偿与储能输出间的无缝过渡, 进一步提升动态调节能力。通过软开关技术与数字化功率控制模块协同作用, 可在确保稳定性的同时, 大幅提高能量转换的实时性与可靠性。

比如, 在“高频隔离光储混合充电模块开发”项目中, 工作人员需要将 DC-DC 变换系统由传统双管

结构改为全桥 ZVS 软开关架构, 提升在快速负载变化下的转换效率。整套功率级集成采用 SiC 器件, 工作频率提升至 80kHz 以上, 减少滤波体积的同时实现毫秒级响应控制^[4]。在控制逻辑上, 设计多模调度机制, 支持光伏优先直驱、电网辅助补偿与储能自动接管等模式间的快速切换, 整个系统在功率突变下稳定时间小于 200ms, 为充电枪提供高动态适应性的电源支撑, 有效提升整体能效表现。实验验证阶段系统平均转换效率达到 97.4%, 在多场景模拟测试中保持较高的稳定性和能量传输连续性。

4.3 构建智能调控实现能量匹配

通过构建多维度能量管理与智能调控系统, 实现充电负荷与光伏发电间的精准匹配是提升能效的核心路径。该系统可集成动态电价信息、天气预测数据及用户充电行为模型, 基于强化学习或多目标优化算法制定最优调度策略, 实时调整充电功率与充电时段。同时, 系统还可设置充电优先级与负荷削峰策略, 使充电枪根据储能状态与用户设定自适应调节运行模式, 最大限度提升可再生能源消纳率, 降低电网峰值负荷, 实现经济性与环保性的双重提升。

比如, 在“光储充智能协同优化调度平台”项目中, 工作人员需要建立融合气象预测、电价模型与用户行为数据库的综合调控系统, 利用强化学习算法自主形成能量分配策略^[5]。该平台通过实时收集太阳辐照度与用户车辆到家时段信息, 自动调节光伏利用优先级与电池充放时机, 最大化提升系统能效比。为 7 千瓦充电枪设置负荷调节通道, 使其可在 1~7kW 区间连续变功率输出, 依据算法生成的调度指令动态调整充电功率, 实现能量利用最优化与成本控制最小化的双重目标^[6]。平台运行数据显示, 光伏利用率由改造前的 64.1% 提升至 87.5%, 单次充电成本平均降低 38.7%, 显著验证了智能调控机制的经济性与节能效益。

4.4 强化接口适配减少电能损耗

为实现多源协同充电系统的高效运行, 需强化各功能模块间的接口适配能力, 降低能量在传输与转换过程中的损耗。包括统一光伏、储能、电网和电动汽车端的电气接口标准, 优化通信协议以提升控制指令响应速度, 确保数据采集与反馈的实时性与准确性。此外, 通过集成式母线设计减少导线传输

距离, 并配合低阻抗连接结构, 可有效降低能量传输过程中的阻抗损耗, 提高整体系统的电气效率, 增强设备间的耦合稳定性。

比如, 在“可再生能源多源协同充电接口优化实验”项目中, 工作人员需要构建统一电气接口协议, 覆盖光伏 DC 输出、锂电池双向传输与交流市电冗余补偿路径, 并在系统中引入基于 CAN 总线的统一通信控制框架。该项目对每一接口段实施低阻抗接插件与同步整流技术, 最大限度降低连接传输过程的电压降与能量热损。为提升兼容性, 调度控制器对外提供 Modbus 与 OCPP 协议双通道接入, 实现与电动汽车 BMS 系统及智能电网平台的数据互联, 为提升电能传输效率提供了基础保障。接口优化后的系统总能量损耗由原方案的 12.3% 下降至 6.8%, 同时缩短了多源切换响应延迟超过 40%, 有效增强系统整体电气协调性与响应速度^[7]。

4.5 集成散热系统兼顾密度热控

在提高功率密度的同时, 需要通过集成高效热管理系统控制器件温升, 确保系统在高负载下长期稳定运行。采用相变材料散热、液冷板系统或热电转换器等新型热控方案, 可将热量迅速从关键部件传导至环境中, 避免局部过热。同时, 通过热场模拟优化内部结构布局, 减少热量聚集, 提升散热均匀性。嵌入式温控芯片实时监测温度变化, 并动态调节风扇转速或功率负载, 可进一步实现热管理的智能化控制, 兼顾设备小型化与高可靠性的系统设计目标。

比如, 在“高密度家用智能充电终端热控优化设计”项目中, 工作人员需要在有限空间内嵌入热电耦合液冷系统, 将核心 MOSFET 与 DC 母线模块热源导流至液冷循环通道, 辅以石墨烯高导热垫片降低界面热阻。设备壳体选用高热导铝合金一体成型结构, 内嵌热场感知模块实时监测器件表面温度, 自动调节液冷泵速与功率输出负载。系统热均衡测试表明, 即便在持续 7kW 高负载运行状态下, 主控芯片温度依然保持在 60℃ 以内, 充分验证散热系统与功率密度设计的协同可靠性^[8]。此外, 系统在 30℃ 以上高温室内测试条件下连续运行 72 小时无故障, 确保设备在极端气候条件下仍能维持高效率与长期

稳定性。

5 结语

综上所述, 本文主要研究了在智能电网环境下, 光伏驱动的 7 千瓦充电枪能效提升的关键技术路径。通过分析影响系统稳定性与效率的核心难点, 提出了包括输出平稳控制、变换结构优化、智能调度策略、接口电气兼容性强化以及散热系统集成在内的系统性改进措施。结合具体项目案例, 验证了各项方法在提升光伏利用率、降低能耗损失、增强系统可靠性等方面的有效性, 为构建绿色高效的能源系统提供了理论支撑与实践方案。

参考文献

- [1] 李卓, 彭寿松, 梁炎玲, 等. 某款纯电动车充电系统无法充电故障诊断流程的设计[J]. 农业装备与车辆工程, 2025, 63(05): 62-69.
- [2] 赵锋. 新能源汽车充电站设施维护与安全保障技术策略[J]. 汽车知识, 2025, 25(06): 251-253.
- [3] 崔星, 周璐莎, 王若浩, 等. 电动汽车充电过程 EMI 特性研究[J]. 汽车电器, 2025, (05): 75-78.
- [4] 李雯. 公共充电桩建设需“增量”与“提质”并进[N]. 法治日报, 2025-04-13(005).
- [5] 方丽琴, 高博. 2019 款奥迪 A6L 混动版便携式充电器充电故障解析[J]. 汽车电器, 2024, (12): 91-94.
- [6] 沈宁. 基于数据驱动的智能电网光伏能源预测方法研究[J]. 能源与环保, 2024, 46(11): 193-197+204.
- [7] 廖锦仁, 彭立沙, 周泽乔. 一种电动汽车液冷充电枪工艺及设计优化[J]. 汽车零部件, 2024, (09): 1-5.
- [8] 钟川东, 黄雪梅, 陈婉枫. 浅析电动汽车 AC 充电的射频传导发射特性[C]//中国电子学会电磁兼容分会. 第 30 届全国电磁兼容学术会议论文集. 中国汽车工程研究院股份有限公司, 2024: 191-195.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS