

# LED 智能电源与家用储能系统的协同供电模式探索

曾 园

金华信园科技有限公司 浙江 金华 321000

**【摘要】**：随着全球能源危机加剧与“双碳”战略推进，家用能源系统正由单一电网依赖向“能源生成-存储-消费”一体化转型。LED 智能电源作为高频用电终端，兼具节能、可控与智能化优势，已成为家庭能源流监测的关键节点；家用储能系统则通过高效消纳可再生能源和提供应急供电，日益成为家庭能源管理的核心设施。然而，当前两者多独立运行，难以协同发挥调控与调度潜力。本文聚焦二者协同供电价值，从技术适配性、协同逻辑、应用场景、运行优劣及优化方向等方面系统研究，旨在构建高效、稳定、经济的家庭供电新范式，为智能家居能源系统升级提供理论与实践支撑。

**【关键词】**：LED 智能电源；家用储能系统；协同供电；能源管理；智能家居

DOI:10.12417/2705-0998.25.23.024

## 1 引言

在“双碳”目标与能源转型驱动下，家庭能源系统正加速向智能化、低碳化升级。我国居民用电占比超 15%，其中照明占家庭总用电 8% - 12%。LED 照明因高能效已成主流，其智能电源不仅支持调光、色温调节等基础功能，更集成电流电压监测、功率计量与无线通信模块，具备实时能耗感知、负载适配与远程控制能力。与此同时，光伏成本十年下降超 80%，推动分布式光伏与家用储能系统快速发展。以磷酸铁锂电池为核心的储能系统，凭借高效率、快响应和长寿命，有效缓解光伏间歇性问题，实现“日储夜用”的能源自循环。然而，当前 LED 智能电源多直连电网，仅在断电时被动切换至应急供电，无法主动调用储能中的清洁电力；而储能系统的充放电策略多依赖预设时间或 SOC 阈值，未结合 LED 等终端负载的实时需求动态优化，造成能源利用效率低、响应滞后。因此，打通两者技术壁垒，构建协同供电机制，实现能源流与信息流的双向互动与精准匹配，对提升家庭能源系统的经济性、稳定性与可持续性具有重要意义。

## 2 协同供电的技术基础与核心逻辑

### 2.1 核心组件的技术特性适配

LED 智能电源与家用储能系统的协同，建立在二者技术特性的高度互补之上。LED 智能电源以“智能可控”和“低功耗节能”为核心优势。其采用 PWM 或 CC-CV 控制技术，可实现微秒级电压/电流调节与 0 - 100% 无频闪调光，并兼容不同功率 LED 负载；高端产品还具备自适应负载识别能力。同时，通过集成 WiFi、ZigBee 等通信模块及功率计量芯片，可实时采集用电数据并快速响应控制指令（响应时间 < 100ms），为协同调度提供终端执行与感知基础。LED 光源光电转换效率超 80%，配合电源自身损耗 < 5%，显著提升系统能效，降低整体能耗负担。

家用储能系统则以“灵活储能调度”和“多模式稳定供电”为支撑。主流采用 3 - 20kWh 磷酸铁锂电池，充放电效率达 90%

以上，部分系统通过双向变流器提升至 95%。其毫秒级响应能力可匹配 LED 负载的动态变化，保障电压频率稳定。系统集成 MPPT 控制器，高效追踪光伏最大功率点，提升清洁能源利用率；同时具备 UPS 功能，可在 10ms 内无缝切换供电，确保照明不中断。多重安全保护机制（过充、过温、短路等）进一步保障协同运行安全。两者在控制精度、响应速度与能源适配性上高度契合，构成协同供电的坚实技术基础。

### 2.2 协同供电的核心逻辑：能源与信息的双向联动

协同供电并非简单物理连接，而是依托“数据驱动的动态平衡机制”，实现能源与信息的双向闭环联动。在信息层，LED 智能电源作为感知节点，实时采集负载功率、环境光照、人体存在等多维数据，并以秒级频率上传至中央控制器；储能系统同步反馈 SOC、充放电能力、电池状态及当前供电模式。控制器融合“负载需求—储能状态—能源来源”三维数据，打破传统“源-荷”信息孤岛，支撑精准调度决策。

在能源层，控制器基于数据闭环动态优化供电策略：在电网低谷电价时段且储能 SOC 偏低时，优先使用电网供电并充电储能；在高峰电价且储能充足时，切换至储能供电，降低用电成本。若配置光伏系统，则白天优先直供 LED 负载，余电充电；光照不足时由储能补电，实现光伏高效消纳。电网停电时，系统自动启动应急模式，储能无缝供电，并指令 LED 电源关闭非核心区域照明，延长应急时间。该“信息引导能源分配”的逻辑，使系统在各类工况下均能兼顾能效、稳定性与经济性，构建高效家庭能源新范式。

## 3 协同供电模式的构建与应用场景

### 3.1 基础架构：三级协同控制体系

协同供电模式依托“终端感知—中央决策—执行反馈”三级控制体系，实现能源与信息的双向闭环管理。

终端感知层以 LED 智能电源为核心，集成电流/电压传感器、光感模块与人体感应器，可高精度采集负载功率、环境光照（0 - 10000 lux）及人员活动状态，并在 100ms 内响应中央

指令，完成亮度、色温或开关调节。

中央决策层由储能控制器与智能家居网关构成，负责数据融合与策略生成。前者处理电池 SOC、充放电状态等信息，后者统一不同设备协议（如 ZigBee、WiFi），并通过模糊控制、时序预测等算法生成最优供电策略。

执行反馈层包括双向变流器、电网切换开关与光伏逆变器，将策略转化为具体动作，并实时反馈执行状态，形成闭环控制。

为保障系统兼容性与扩展性，建议采用 MQTT 或 HomeKit 等标准化协议，并在中央控制器中集成多协议转换模块与 AES 加密机制，确保数据安全互通。同时预留 RS485、CAN、5G 等接口，支持未来接入社区或电网能源平台，实现多级协同。

### 3.2 典型应用场景的供电模式

基于该体系，协同系统可灵活适配三大典型场景：

一是日常节能模式：白天根据环境光照自动调光（强光下调至 30% - 50%，弱光时升至 80% - 100%）；低谷电价且 SOC<50%时，以 0.5C - 1C 速率充电。若配备光伏，优先直供 LED 负载，余电存入储能，实现光伏高效消纳。该模式下，系统能效提升 15% - 20%，照明成本降低约 20%。

二是应急保障模式：电网断电时，储能系统 5ms 内无缝切换供电，LED 无闪烁。中央控制器立即关闭非必要照明，仅保留客厅、卧室等核心区域，并将亮度降至 50% - 70%。以 10kWh 储能、50W 负载为例，可连续供电超 160 小时，远超常规故障修复周期（≤72 小时）。用户还可通过 APP 实时查看停电状态与剩余供电时间。

三是智能联动模式：深度融合生活场景，实现按需照明。例如，入户时玄关灯自动亮起，根据 SOC 决定供电来源；观影时自动调暗灯光；睡眠前渐暗并切换暖光；离家后全屋关灯并优化储能充放电策略。通过多传感器融合与场景识别，系统在保障舒适性的同时，实现能源的精细化管理。

上述模式共同构建了高效、可靠、人性化的家庭协同供电新范式。

## 4 协同供电模式的优势与现实挑战

### 4.1 核心优势分析

协同供电模式在经济性、能源效率与安全性三方面显著优于独立运行系统。

经济性方面，通过错峰储能、光伏消纳与负载优化降低用电成本。以 100 m<sup>2</sup> 家庭为例，LED 月用电约 24 度，若 60% 高峰用电由储能替代（峰谷价差 0.5 元/度），年省电费 86 元；搭配 1kW 光伏系统（年发电 1200 度，30% 用于照明），可再省 216 元。同时，协同策略优化充放电深度，将锂电池循环寿命从 1500 - 2000 次提升至 2000 - 2500 次，延长寿命约 25%，

降低更换成本。

能源效率方面，协同系统提升家庭能源自给率与清洁化水平。通过“光伏优先自用+余电储能”，照明光伏占比可达 50% 以上，能源自给率提升 30% - 40%，减少电网依赖及 5% - 8% 的输电损耗。年用 360 度光伏电力照明，可减碳 270kg，相当于种植 15 棵树。此外，LED 智能电源动态匹配负载，使储能系统始终运行在 20% - 80% 高效功率区间（效率 92% - 95%），避免轻载或过载导致的效率下降与电池损伤。

安全性方面，系统兼具供电可靠与设备保护能力。应急模式下，停电 5ms 内无缝切换，保障核心区域照明，避免黑暗风险；毫秒级响应也防止电压突变损坏灯具。中央控制器构建多重防护：短路时 10ms 内切断回路，电池单体异常时预警并调整策略，温度超 60℃ 自动降载，有效预防火灾与设备故障。

### 4.2 面临的现实挑战

尽管优势突出，协同模式推广仍面临三大障碍：

一是设备兼容性差。LED 电源与储能系统分属不同厂商，通讯协议（如 ZigBee vs. WiFi）、控制逻辑不统一，常需额外网关（200 - 500 元）实现联动，增加成本与复杂度。部分品牌采用私有协议，强制用户“全家桶”采购，限制选择并推高投入。响应速度不匹配（如 LED 响应 500ms vs. 储能 100ms）还可能导致切换闪烁，影响体验。

二是控制算法不够智能。当前多依赖固定规则（如 SOC 阈值充放电），难以应对家庭负载随机波动与光伏间歇性变化。例如，负载突增时若储能仍在充电，易致照明闪烁；光伏骤增时若未及时调载，则造成弃光。算法普遍缺乏对用户作息、照明偏好的学习能力，智能化体验不足。

三是用户接受度低、初始成本高。多数用户不了解协同价值，误以为“灯亮即可”，或担忧操作复杂、电池安全。系统初始投入约 2 - 3 万元（储能占 70% 以上），无补贴情况下回本周期达 8 - 12 年，经济门槛高。三四线城市及农村补贴不足，进一步抑制普及意愿。

综上，协同供电虽具显著综合效益，但需突破标准缺失、算法滞后与市场认知瓶颈，方能迈向规模化应用。

## 5 协同供电模式的优化方向与发展展望

### 5.1 技术优化路径

为突破当前瓶颈，需从三方面推进技术升级：

一是提升设备兼容性。推动制定统一的行业通讯标准（如基于 SECS/GEM 的家庭能源协议），强制新设备支持标准化接口；同时发展多协议通用网关，集成 WiFi、ZigBee 等协议转换能力，并鼓励厂商开放 API，实现跨品牌互联。建立兼容性认证标识体系，帮助用户快速识别适配产品。

二是优化控制算法。引入 AI 与大数据技术，在中央控制

器部署深度学习模型，融合历史用电、光伏输出、气象及用户行为数据，实现未来24小时负载与发电的高精度预测（误差<10%）。算法应具备毫秒级自适应能力，动态平衡功率分配，并支持个性化设置（如照明偏好），提升智能体验。

三是升级硬件性能。推进“LED电源+小型储能”一体化设计，简化安装；推广磷酸铁锂、固态电池及钠离子电池等更安全、长寿命储能技术；采用SiC芯片双向变流器，将充放电效率提至96%以上；优化LED电源电路，自身损耗降至3%以内。通过规模化生产，推动10kWh系统成本从0.8元/Wh向0.5元/Wh迈进，缩短投资回收期。

### 5.2 产业与市场推广建议

需政府、企业、协会协同发力：

产业层面，构建“光伏-储能-LED-平台”生态链，鼓励跨界联合研发（如阳光电源与欧普照明合作），推动智能家居平台开放接口，实现多系统联动。

政策层面，实施按储能容量补贴（如500元/kWh）、扩大峰谷电价差，并支持家庭储能参与“虚拟电厂”，通过电网调峰获取收益分成。设立专项研发基金，加速关键技术攻关。

市场层面，通过线下体验店与线上短视频（如抖音实测）普及认知；针对小户型推1万元内经济套装（3-5kWh+基础LED），大户型推光储智联豪华方案，农村地区推防尘防水型产品；提供分期付款、以租代购等金融方案，降低门槛。

### 5.3 未来发展展望

协同系统将从家庭单元迈向“网-家-端”一体化能源节点。借助5G与物联网，家庭储能可作为虚拟电厂资源，响应电网调度，实现削峰填谷并获取收益。

AI将驱动系统从“被动响应”转向“主动预判”：基于用户习惯自动调节照明场景，甚至结合睡眠数据优化夜灯策略；同时实现故障自诊断与维护提醒。

新型储能技术将带来质变：固态电池体积减半、寿命超

3000次、无起火风险；氢能储能可补足长周期需求；光伏LED一体化灯具将进一步简化系统结构。

未来，协同供电将成为家庭能源清洁化、智能化、自主化的核心载体，为“双碳”目标提供坚实微观支撑。

## 6 结论

LED智能电源与家用储能系统的协同供电模式，是基于两者核心技术特性互补形成的新型家庭能源管理方案。其通过构建“终端感知—中央决策—执行反馈”的三级控制体系，以“信息联动—精准调控—场景适配”为核心逻辑，实现了能源利用效率的显著提升、供电可靠性的全面增强与使用成本的有效降低。该模式并非简单的设备叠加，而是通过数据驱动的动态平衡机制，打破了LED终端与储能系统之间的技术壁垒，实现了能源流与信息流的双向交互与精准匹配，为家庭能源系统的智能化升级提供了切实可行的技术路径与应用范式。

从实践价值看，协同供电不仅优化了家庭内部的能源调度结构，还有效提升了可再生能源的就地消纳能力，助力实现“自发自用、余电存储、按需供给”的闭环运行，显著增强了对电网波动和突发事件的韧性应对能力。在“双碳”战略背景下，这一模式通过降低化石能源依赖、减少碳排放、延长设备寿命等多重效益，为构建绿色、低碳、安全、高效的现代家庭能源体系奠定了微观基础。

展望未来，随着人工智能、物联网、新型储能及标准化协议的持续演进，协同供电将逐步从单一家庭场景拓展至社区级乃至城市级能源网络，成为虚拟电厂、需求响应和分布式能源交易的重要组成部分。因此，加快推动技术融合、完善产业生态、强化政策引导与用户培育，不仅是提升家庭用能体验的关键举措，更是加速能源转型、实现可持续发展目标的重要支撑。协同供电模式所代表的“源-网-荷-储”一体化理念，有望成为下一代智能家居能源系统的核心架构，引领家庭用能迈向更智能、更清洁、更自主的新阶段。

## 参考文献：

- [1] 金千航.智能家用储能系统设计与实现[D].杭州电子科技大学,2022.
- [2] 吴皓文,王军,龚迎莉,等.储能技术发展现状及应用前景分析[J].电力学报.2021,(5).
- [3] 张明勋,丛鹏,刘光辉.电池储能技术在电力系统中的应用[J].通信电源技术.2020,(11).
- [4] 章勇高,侯景阳,洪博野,等.一种高效基于双向变换器的无电解电容LED驱动电源[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2019,40(4):45-51.