

光储充一体化电站的电气自动化控制策略研究

吴俊强

数源科技股份有限公司, 浙江 杭州 310000

DOI:10.61369/EPTSM.2025040013

摘 要： 光储充一体化电站结合了光伏发电、储能系统和充电桩，作为现代新能源系统的重要组成部分，对促进可再生能源的利用和电力系统的智能化具有重要意义。电气自动化控制在这一系统中发挥着至关重要的作用，主要通过实时监控、能源调度和安全保护等手段，优化电站的运行效率与稳定性。通过设计智能化控制策略，协调光伏发电、储能与充电桩之间的功率平衡，实现对电池的精细管理与能效提升，确保电网安全稳定运行。控制策略的优化可有效降低系统故障率，提升电池使用寿命，并降低运行成本，为未来的绿色能源系统提供技术支持和理论依据。

关 键 词： 光储充一体化电站；电气自动化控制；能源调度；储能管理；智能化系统

Research on Electrical Automation Control Strategy for Integrated Photovoltaic-Storage-Charging Power Station

Wu Junqiang

Shuyuan Technology Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang 310000

Abstract： The integrated photovoltaic-storage-charging power station combines photovoltaic power generation, energy storage systems, and charging piles. As an important component of modern renewable energy systems, it is significant in promoting the utilization of renewable energy and the intelligence of power systems. Electrical automation control plays a crucial role in this system, mainly optimizing the operational efficiency and stability of the power station through real-time monitoring, energy scheduling, and safety protection. By designing intelligent control strategies, coordinating the power balance between photovoltaic power generation, energy storage, and charging piles, fine management of batteries and energy efficiency improvement are achieved, ensuring the safe and stable operation of the power grid. The optimization of control strategies can effectively reduce system failure rates, improve battery life, and lower operating costs, providing technical support and theoretical basis for future green energy systems.

Keywords： integrated photovoltaic-storage-charging power station; electrical automation control; energy scheduling; energy storage management; intelligent system

引言

光储充一体化电站作为能源革命的重要组成部分，已逐渐成为实现绿色低碳目标的关键技术。通过整合太阳能发电、储能和充电设施，不仅提高了能源利用效率，还促进了电力系统的智能化发展。电气自动化控制技术在其中发挥着核心作用，确保系统的高效、安全、稳定运行。随着智能化控制策略的不断优化，光储充一体化电站在节能减排、系统稳定性以及经济效益方面展现出巨大的潜力，对未来电力系统的构建具有重要意义。

一、光储充一体化电站的系统构成与工作原理

1. 光储充一体化电站的系统构成

光储充一体化电站由太阳能光伏发电系统、储能系统和充电桩系统三部分组成。光伏发电系统是电站的核心，通过光伏面板将太阳能转化为电能，随后通过逆变器将直流电转换为交流电，供电网或储能系统使用。逆变器适配电网的需求，确保电能的稳

定输出。

储能系统主要由锂电池或其他先进电池设备构成，储存光伏发电中产生的多余电能。这些储能设备能够在电力需求高峰时释放电能，平衡电网负荷，提升电站的供电稳定性。在电网出现故障或波动时，储能系统还可提供应急电力支持，确保电网的持续运行。

充电桩系统连接电站与电动汽车，负责为电动汽车充电。该

系统与储能设备紧密协作，确保电动汽车充电过程中不会对电网造成过大压力，并最大限度地利用光伏发电提供的清洁能源，降低碳排放，推动可持续交通发展^[1]。

2. 光储充一体化电站的工作原理

太阳能光伏发电系统通过光伏面板吸收太阳光，将光能转化为直流电。逆变器的作用是将直流电转换为交流电，输送至电网或电池储能系统。根据电站的需求，光伏发电的电能可以直接供给负载使用，也可以储存于电池中备用。光伏发电系统的输出功率受天气、光照强度和时间等因素影响，通常会随着日照变化而波动。因此，光伏系统需要与储能系统配合，以保证电站运行的稳定性。

储能系统的充放电原理决定了电池如何高效、安全地存储和释放电能。当光伏系统发电量大于实际需求时，多余的电能会通过充电管理系统进入储能设备。当电网负荷高峰或光照不足时，储能系统会将之前储存的电能释放出来，维持电网的平衡。为了确保电池的使用寿命和安全性，储能系统通常配备电池管理系统（BMS），该系统对电池的充电状态、温度和健康状况进行监控，防止过充或过放^[2]。

充电桩的接入与电池充电过程需要与电池储能系统及电动汽车之间进行协调。当电动汽车连接到充电桩时，充电桩将根据电池的电量状态和负载需求，控制充电电流和电压，确保充电过程平稳高效。充电过程中，电池储能系统可为充电桩提供电能，优先使用来自光伏系统的清洁能源，进一步提升系统的整体能效和环保性能。

二、光储充一体化电站的电气自动化控制需求与挑战

1. 电气自动化控制的基本要求

电气自动化控制系统在光储充一体化电站中起着至关重要的作用，首先要求系统能够进行实时监控与调度。通过传感器、控制器和通信设备的集成，系统能够实时采集各子系统的运行数据，如光伏发电量、储能电池状态、充电桩负载等，从而动态调节各系统的运行状态。这种实时监控为电站的高效运作提供了保障，确保在光照变化或电网负荷波动的情况下，系统能够迅速做出反应^[3]。

其次，电气自动化控制需要具备完善的安全保护与故障检测功能。在光储充一体化电站中，涉及的设备和技术较为复杂，系统在运行过程中难免会出现故障或异常情况。因此，自动化控制系统需具备实时检测设备故障、发热、短路等潜在问题的能力，并能在发现异常时自动切断电路或启动备用方案，确保电站运行的安全性和可靠性。

2. 面临的挑战

光储充一体化电站的系统非常复杂，涉及光伏发电、储能设备、充电桩等多个子系统，这些子系统之间的协调非常重要。由于不同子系统的工作原理和控制需求不同，如何有效协调各部分的运行，避免过度调度或冲突，确保系统整体高效运行，是电气自动化控制面临的一个重要挑战。例如，光伏发电系统和储能系统的功率输出往往会存在不匹配的情况，需要智能调度来平衡两者的功率流。

此外，电网的电力波动也给电气自动化控制带来了较大挑战。光伏发电的波动性使得电力供应不稳定，尤其在光照较弱的天气条件下，发电量急剧下降。为了应对这种情况，储能系统需

要及时介入，提供足够的电能储备^[4]。

3. 现有技术不足

现有的传统电气自动化控制策略往往在灵活性和适应性方面存在局限性，难以快速应对系统的动态变化。传统控制策略主要依赖预设的规则和固定的算法，在面对复杂多变的实际运行环境时，可能无法根据实时数据做出最佳决策。因此，现有技术在应对高效、灵活调度方面的能力尚显不足，尤其是在高负荷或光伏发电量异常的情况下，如何快速调整控制策略以保障系统稳定性仍然是一个技术难点。

在充电桩的智能调度方面，尽管已有部分算法应用于负荷管理，但充电桩智能调度算法尚未完善。电动汽车的充电需求受多种因素影响，如电池容量、充电时间、充电速率等，现有算法尚无法根据电网的实时状态和用户需求进行高效优化。

三、光储充一体化电站电气自动化控制策略设计

1. 智能化控制系统设计

智能化控制系统在光储充一体化电站中发挥着核心作用。系统通过高精度传感器实时监测光伏发电、电池储能和充电桩负载等关键数据。例如，光伏阵列电压、电流传感器精度为 $\pm 0.5\%$ ，确保实时获取准确数据，为调度决策提供依据。电池管理系统（BMS）监控电池单体的电压和温度，避免过充过放，从而延长电池寿命。

同时，自动化调度与故障自诊断系统是确保电站高效运行的关键。系统依据电池 SOC（状态电量）和负载需求，调节电池的充放电速率，优化光伏发电输出和充电桩负荷分配，确保充电桩稳定运行。故障诊断算法能够实时检测设备异常，一旦发生故障，系统会快速识别并发出警报，保障电站的安全性与稳定性^[5]。

2. 能源调度与优化控制策略

能源调度与优化控制策略在光储充一体化电站中确保了功率平衡和电网稳定。当光伏系统发电能力充足时，过剩电能会储存到电池中；在光照较弱或电力需求高峰时，储能系统则释放电能供电网或充电桩使用，避免电网电压波动或过载。调度系统根据实时数据智能调节各部分功率分配，确保光伏发电、储能和用电需求之间的平衡。

在电网负荷较大的情况下，充电桩的负荷分配也需优化。系统优先使用光伏发电的清洁电能为电动汽车充电，减轻电网压力。同时，根据充电需求和电池剩余电量，系统调节充电桩的充电功率，确保电网负荷平稳过渡，避免大规模充电时对电网造成过大负担，提高整体运行效率与安全性。

3. 电池管理与能效提升策略

电池管理系统（BMS）是确保电池健康运行和提高系统能效的核心。首先，SOC（状态电量）管理与保护是 BMS 的基本功能。通过实时监控电池的充电状态，系统精确控制充电过程，避免过充或过放。BMS 设定最大充电电压为 4.2V，最小放电电压为 3.0V，保护电池延长使用寿命。同时，系统根据电池的使用情况动态调整充放电速率，确保电池始终在安全范围内工作。

电池充放电过程中产生的热量对系统能效影响重大。过高的

温度不仅会降低电池性能，还可能加速电池老化。为此，BMS 配备温度传感器（精度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ），实时监控电池温度。当电池温度超过 45°C 时，系统会自动启动冷却系统以降低温度，避免因过热影响电池性能和寿命。通过有效的热管理，BMS 能够显著提升系统的稳定性和能效^[6]。

4. 安全与稳定性保障策略

光储充一体化电站的安全与稳定性保障策略，首先是防止电网过载与过流保护。通过高精度的电流传感器（精度 $\pm 0.5\%$ ）和电压传感器（精度 $\pm 0.2\%$ ），系统能够实时监测电网的电流、电压情况，防止电网负载过大或电流过大导致设备损坏。在电网出现过载或过流时，电气自动化控制系统将通过断路器或负荷切换设备迅速切断故障部分，避免电网损坏或大规模停电，保障电站的稳定运行。

此外，关键设备的故障自动切换与容错机制也是保障系统稳定运行的关键技术。当电站中某一关键设备（如逆变器、电池管理系统或充电桩）发生故障时，系统会自动启动备用设备，确保电站的连续运行。

四、光储充一体化电站控制系统的实现与应用

1. 系统硬件与软件架构

在光储充一体化电站的控制系统中，控制器的选型至关重要。控制器需具备高效的数据处理能力和可靠的控制精度。常见的控制器选型包括基于 ARM 架构的嵌入式控制系统和 PLC（可编程逻辑控制器）。为了确保高效的数据处理，控制器需要具有至少 1 GHz 的处理器频率，以及最小 8 GB 的存储容量，以支持高频数据的实时采集与处理。此外，控制器需具备多种输入输出端口（如 CAN、Modbus、RS-485 等），确保与光伏发电系统、储能设备、充电桩等多个设备的连接与协同工作^[7]。

控制软件平台的设计必须满足系统实时性要求。常用的控制软件平台如 SCADA 系统（Supervisory Control and Data Acquisition），可以提供集中监控和管理功能，支持多协议的通信标准（如 Modbus、OPC、BACnet 等）。这些协议能够实现各子系统间的高效通信，确保数据的精准传输和及时处理。

2. 控制策略实现

控制策略的实现依赖于系统的功能模块化设计，确保各子系统能够独立运行并与整体系统高效协作。例如，电池管理模块、光伏发电模块、充电桩调度模块等，通过标准化的接口实现数据交换与协调。每个模块的设计需要满足特定的性能指标，如光

伏发电模块需能支持最大输出功率（如每千瓦时最大发电量 10 kWh），而电池管理模块则需要实时监控电池的电压、电流、SOC 等关键数据^[8]。

电气自动化控制系统的优化算法应用包括基于模糊控制、PID 控制及遗传算法的优化调度。通过遗传算法可以优化储能电池的充放电策略，最小化能量损失，并延长电池寿命。例如，采用遗传算法对储能系统进行调度优化，能够在保证电池充放电效率的前提下，将电池循环寿命延长 20%。PID 控制算法则可用于精确调节光伏发电与储能系统之间的功率平衡。

3. 实际应用案例与测试

在实际应用中，光储充一体化电站的控制系统需要进行系统性能测试，以验证其在不同工况下的稳定性与效率。性能测试通常包括系统启动时间、响应时间、电力负载调节精度等指标。例如，系统的启动时间需要控制在 3 秒以内，而负载调节精度应达到 $\pm 0.5\%$ 以内，确保电站运行中的灵活性和稳定性。此外，还需测试储能设备在不同 SOC 状态下的充放电效率，以验证系统的能效。

实际运行数据分析与优化效果评估也是系统应用的关键环节。通过对电站运行数据的收集与分析，可以评估系统在长期运行中的性能表现，如电池充放电的效率、充电桩负载均衡情况等。例如，运行数据表明，在光照强度较低的情况下，系统的储能效率可达到 90% 以上，充电桩负载优化后，电网负载波动幅度减少了 15%。如表 1 所示。

表 1 光储充一体化电站系统性能测试结果

测试项目	测试结果	标准要求
系统启动时间	2.8 秒	≤ 3 秒
负载调节精度	$\pm 0.4\%$	$\pm 0.5\%$
储能充放电效率	90%	$\geq 85\%$
电网负荷波动幅度	15%	$\leq 20\%$

五、结束语

光储充一体化电站通过电气自动化控制策略的优化与实现，不仅提高了电站运行的效率与稳定性，还有效解决了光伏发电波动性和电网负荷调节问题。智能化控制系统、优化的能源调度和电池管理策略，确保了电站在不同工况下的平稳运行。随着技术的不断发展，光储充一体化电站将在绿色能源的应用中发挥更大作用，推动智能电网和可再生能源系统的融合与发展，为未来能源系统的可持续性提供强有力的支持。

参考文献

- [1] 刘政毅. 光储充一体化电站建设关键技术分析 [J]. 光源与照明, 2024, (03): 102-104.
- [2] 马小芳. 光储充放检一体化电站关键技术研究 [J]. 电器工业, 2024, (05): 56-60.
- [3] 王啸, 黄天罡, 董宸, 等. 光储充一体化电站能量管理关键技术研究 [J]. 中国高科技, 2024, (22): 88-90.DOI: 10.13535/j.cnki.10-1507/n.2024.22.31.
- [4] 张春燕. 光储充一体化电站储能装置容量配置的研究 [J]. 建筑电气, 2024, 43(07): 7-12.
- [5] 祁芙蓉. 光储充电站优化调度及储能配置的研究 [D]. 西安理工大学, 2023.DOI: 10.27398/d.cnki.gxalu.2023.001699.
- [6] 王伟. 光储充智慧充电站及其能量调度优化研究 [D]. 武汉理工大学, 2021.DOI: 10.27381/d.cnki.gwlg.2021.001319.
- [7] 李建霞. 高速公路光储充一体化电站选址定容研究 [D]. 兰州交通大学, 2021.DOI: 10.27205/d.cnki.gltcc.2021.001047.
- [8] 孙猛. 基于光储充一体化的电气自动化智能控制系统设计研究 [J]. 电气应用, 2024, 43(10): 39-46.