

光伏储能一体化系统的能量管理与控制策略研究

邓国文

宜昌既济数能集团有限公司 湖北 宜昌 443000

摘要：本文聚焦光伏储能一体化系统，阐述其由光伏发电、储能、能量转换等单元构成，具有能量流动多样、效率受多因素影响等特性，且在分布式发电、微电网等领域应用广泛。系统能量管理涵盖目标体系、优化模型及不同场景策略；控制策略包括底层设备、系统级协调及基于智能技术的优化。通过交通领域公交充电站和工业园区新材料公司项目案例分析，表明该系统可降低成本、提高供电可靠性与能源利用率，实现绿色发展。

关键词：光伏储能一体化；能量管理；控制策略

1 光伏储能一体化系统构成与运行特性

1.1 系统基本构成

光伏储能一体化系统核心构成包括光伏发电单元、储能单元、能量转换单元、监控与管理单元及电气连接设备。光伏发电单元作为能量源泉，由光伏电池组件串联并联构成，转化太阳能为直流电，但其输出功率受光照、温度、阴影等条件影响，具有间歇性和波动性。储能单元，常用技术涵盖锂离子电池、铅酸蓄电池、液流电池等，扮演着平衡供需、稳定系统的重要角色，能在光伏发电过剩时储能，在发电不足或用电高峰时供电。能量转换单元配备逆变器，负责将光伏发电产生的直流电转换为交流电，适配大多数用电设备需求，同时在储能单元充放电时实现电能形式转换。监控与管理单元是整个系统的“智慧大脑”，实时采集光伏发电功率、储能电量、负载功率等数据，依据预设策略进行系统调度管理，保障系统安全高效运行^[1]。



光伏储能一体化系统构图

1.2 系统运行特性

光伏储能一体化系统运行特性独特。能量流动上，存在多条传输路径：光照充足时，光伏发电单元产生的电能一部分供给负载，多余电能存入储能单元；光照不足或夜间，储能单元释放电能，与仍有发电能力的光伏

单元共同为负载供电。

系统运行效率受多因素制约，光伏发电单元的转换效率决定太阳能到电能的转化比例，储能单元的充放电效率影响电能存储与释放的损耗，能量转换单元效率及电气连接损耗也会影响整体效率；稳定性上，因光伏发电具有间歇性和波动性，单独依靠其难以保证供电稳定。储能单元的加入可有效平滑功率波动，提升供电可靠性。借助合理的能量管理策略，系统能依据负载需求和光伏发电状况，灵活调整储能单元充放电状态，进一步增强稳定性。

1.3 系统典型应用场景

光伏储能一体化系统应用场景广泛。在分布式发电领域，适用于居民住宅、商业建筑等，能提供清洁可靠电力，降低对传统电网的依赖，实现能源自给，多余电能并网销售还可带来经济效益。在微电网系统中，它是重要组成部分，微电网可独立于大电网运行，也能在并网与孤岛模式间切换，该系统能为微电网提供稳定电源，保障重要负载供电可靠性，提高能源利用效率。此外，在偏远或无电地区，它可作为独立电源系统，为通信基站、气象监测站等设施供电，有效解决当地用电难题。

2 光伏储能一体化系统的能量管理

2.1 能量管理目标体系

光伏储能一体化系统的能量管理目标具有多层次性。首要目标是实现能源的高效利用，通过合理调配光伏发电和储能单元的能量，最大程度地减少能源浪费，提高系统对太阳能的利用率。保障供电可靠性是另一个重要目标。系统需要根据负载的需求变化，及时调整能量供应策略，确保在各种工况下都能为负载提供稳定、持续的电力。特别是在光伏发电不足或电网故障等情况下，储能单元要能够迅速响应，保障关键负载的正常运行^[2]。降低运行成本也是能量管理的重要考量因素。这包

括减少对传统电网的购电量，降低储能单元的充放电损耗，延长设备的使用寿命等。通过优化能量管理策略，实现系统经济运行，提高项目的经济效益。

2.2 能量管理优化模型

为实现能量管理目标，需建立相应优化模型，常见有基于成本最小化、能源利用率最大化及综合考虑多目标的优化模型。基于成本最小化的模型，考虑购电、储能单元充放电及设备维护等成本，通过优化光伏、储能单元与电网的能量交互策略，使系统一定时间内总运行成本最低；基于能源利用率最大化的模型，侧重提高太阳能利用效率，通过合理安排储能单元充放电时间和功率，尽可能多消纳光伏发电、减少弃光，提升系统对可再生能源的利用水平。综合考虑多目标的优化模型，综合权衡成本、能源利用率、供电可靠性等多个目标，通过引入权重系数等方法，将多目标问题转化为单目标问题求解，以找到最优平衡的能量管理策略。

各模型信息如下表：

优化模型	目标	考虑因素
基于成本最小化的模型	使系统在一定时间内的总运行成本最低	购电成本、储能单元的充放电成本、设备维护成本等
基于能源利用率最大化的模型	提高太阳能的利用效率，减少弃光现象	光伏发电的消纳情况、储能单元的充放电时间和功率安排
综合考虑多目标的优化模型	在成本、能源利用率、供电可靠性等多个目标之间达到最优平衡	成本、能源利用率、供电可靠性等，通过引入权重系数将多目标问题转化为单目标问题求解

2.3 不同场景的能量管理策略

在不同的应用场景下，光伏储能一体化系统需要采用不同的能量管理策略。在并网运行场景中，系统可以根据电价信息和光伏发电预测，制定合理的充放电策略。例如，在电价较低时，利用电网电能对储能单元进行充电；在电价较高或光伏发电不足时，将储能单元的电释放到电网或供给负载使用，实现套利和削峰填谷的作用。在孤岛运行场景下，系统的能量管理重点在于保障供电的稳定性和可靠性。此时，需要根据负载的优先级，合理分配光伏发电和储能单元的能量。对于重要负载，要确保其供电不受光伏发电波动的影响；对于非重要负载，可以在能源紧张时适当降低供电功率或切断供电。在微电网并网/孤岛切换场景中，能量管理策略需要具备快速响应和灵活调整的能力。在切换过程中，要确保系统的功率平衡，避免出现电压和频率的波动。同时要根据切换后的运行模式，及时调整能量管理策略，以适应新的运行工况。

3 光伏储能一体化系统的控制策略

3.1 底层设备控制策略

底层设备控制策略聚焦于光伏发电单元与储能单元等关键设备，旨在保障系统稳定高效运行。对于光伏发电单元而言，最大功率点跟踪（MPPT）控制策略至关重要。由于光照强度、温度等环境因素时刻变化，光伏电池的输出功率也随之波动，并非始终处于最大功率状态。MPPT控制策略通过实时精准调整光伏电池的工作点，让其始终紧密围绕在最大功率点附近，从而显著提升光伏发电效率。在众多MPPT算法中，扰动观察法通过不断施加小的电压扰动，观察功率变化方向来确定下一步调整策略；电导增量法则是依据电导的变化情况来跟踪最大功率点，这两种算法都具备较高的实用性和有效性。储能单元的控制策略涵盖充电与放电控制。充电时，系统会实时监测储能单元的剩余电量和充电状态，依据这些信息智能选择合适的充电模式。放电过程中，系统会紧密结合负载需求和整体系统运行状态，精确控制储能单元的放电功率和放电时间，严格避免过放电现象，以此延长储能单元的使用寿命，确保其性能稳定可靠。

3.2 系统级协调控制策略

3.2.1 功率协调控制

功率协调控制堪称系统级协调控制的核心要点与关键环节。在光伏储能一体化系统运行过程中，它时刻发挥着至关重要的作用。该控制策略借助高精度的传感器，实时且精准地监测光伏发电功率、负载功率以及储能单元的充放电功率。依据系统预先精心设定的功率平衡方程，对系统中各部分的功率进行科学、合理的协调分配。举例来说，当处于光照充足时段，光伏发电功率大于负载功率时，系统会迅速做出反应，将多余的功率智能分配给储能单元进行充电，确保多余电能得以有效存储，避免能源浪费。而当遇到阴天或夜晚等光照不足情况，光伏发电功率不足以满足负载需求时，控制策略会立即控制储能单元放电，精准补充功率缺口，保障负载能够持续、稳定地运行，从而维持整个系统功率的动态平衡。

3.2.2 模式切换控制

光伏储能一体化系统在实际运行中，会因不同的工况需求而面临多种运行模式，像并网模式、孤岛模式等，模式切换控制策略便是保障系统稳定运行的关键所在。为确保切换过程平稳有序，在切换前，系统会对自身的状态进行全面、细致的评估和预处理。这包括检查储能单元的剩余电量、设备的运行状态等，提前为切换做好充分准备^[3]。在切换过程中，系统会实时、密切地

监测关键参数，如电压、频率等。一旦发现参数出现异常波动，会立即根据预设的控制策略进行及时调整。例如，若电压出现偏差，系统会迅速调整储能单元的充放电功率或光伏发电的输出，以保证电压稳定在合理范围内，从而确保系统在模式切换过程中能够保持稳定性和功率平衡，顺利完成模式转换。

3.2.3 多目标协同控制

多目标协同控制是一种全面、综合考量系统性能的控制策略，它着眼于系统的多个重要性能指标，如功率平衡、能源利用效率、供电可靠性等。在实际应用中，为了实现这些多目标的协同优化，首先需要建立科学合理的多目标协同控制模型。该模型将各个性能指标进行量化分析，并明确它们之间的相互关系和影响。随后，采用先进的控制算法，如模型预测控制、模糊控制等，对系统各部分进行协同控制。模型预测控制能够根据系统的历史数据和当前状态，预测未来的运行趋势，并提前做出控制决策；模糊控制则擅长处理不确定性和模糊性的问题，通过模糊规则实现对系统的灵活控制。通过这些算法的应用，在满足功率平衡这一基础要求的前提下，进一步优化能源利用效率，提高供电可靠性，最终实现系统整体性能的最优化。

3.3 基于智能技术的控制策略优化

人工智能技术迅猛发展，在光伏储能一体化系统中，基于智能技术的控制策略优化应用愈发广泛深入，为系统稳定高效运行提供强大助力。神经网络算法如同智能“预测大师”，凭借强大非线性映射能力，对光伏发电功率和负载功率精准预测。它学习分析大量历史数据，捕捉功率变化复杂规律，提前知晓功率走势，为能量管理与控制策略制定提供精确可靠依据，让系统提前做好应对；遗传算法、粒子群算法等智能优化算法好似技艺精湛的“调参高手”，用于优化能量管理模型和控制策略参数，通过不断迭代搜索，在庞大参数空间探寻最优组合，提升系统整体表现。另外，智能控制技术让系统具备自适应控制能力，能实时感知运行状态与环境变化，自动调整控制策略，使系统在复杂情况下稳定运行，增强鲁棒性与适应性。

4 应用场景与案例分析

4.1 交通领域：公交充电站案例

在交通领域，光伏储能一体化系统应用于公交充电站具有显著的优势。以某城市公交充电站为例，该充电站安装了大规模的光伏发电系统和储能装置。光伏发电系统在白天光照充足时为公交车充电，同时将多余的电能存储到储能单元中。在夜间或光照不足时，储能单元释放电能，继续为公交车充电^[4]。通过这种方式，不仅减少充电站对传统电网的依赖，降低充电成本，还提高公交运营的环保性。同时，储能单元的引入有效平滑光伏发电功率的波动，保障充电站供电的稳定性，满足公交车充电的需求。

4.2 工业园区：新材料公司项目案例

某新材料公司的工业园区采用光伏储能一体化系统。该园区内建设了分布式光伏发电设施，并在园区内配置储能系统。在生产过程中，光伏发电优先供给园区内的生产设备使用。当光伏发电功率过剩时，将电能存储到储能单元中；当生产用电高峰或光伏发电不足时，储能单元释放电能，保障生产的连续性。通过光伏储能一体化系统的应用，该新材料公司降低企业的用电成本，减少对传统能源的消耗，实现了绿色生产。同时系统还具备应急供电功能，在电网故障时能够为园区内的关键设备提供电力支持，提高企业的生产安全性和可靠性。

结束语

光伏储能一体化系统作为能源领域的重要创新，在能量管理与控制策略的协同作用下，展现出强大的应用潜力与优势。通过合理规划系统构成、精准制定能量管理策略以及不断优化控制技术，该系统在多个领域成功实现高效、稳定、绿色的能源供应。未来，随着技术的持续进步，其应用场景将进一步拓展，为推动能源转型和可持续发展发挥更为关键的作用。

参考文献

- [1]陈思远,陶莹.光储充检放一体化充电站在配电网中的应用研究[J].光源与照明,2023(5):126-128.
- [2]曾彤,杜健健,苏俭.乡镇地区建设光储充一体化充电站策略研究[J].光源与照明,2023(8):123-125.
- [3]赵若楠,董莉,白璐,等.光伏行业生命周期碳排放清单分析[J].中国环境科学,2020,40(6):2751-2757.
- [4]周宁远.光伏发电与现代照明控制策略结合分析[J].中国照明电器,2025,(03):169-171.