

[电力汽车]

基于电力储能柜的智能充换电场站能效提升研究

文/向慕超¹ 邱铁军² 许莹² 李晓峰³

1. 国网湖北省电力有限公司电力科学研究院；2. 国网电动汽车服务湖北有限公司；3. 湖北省动程科技有限公司

分析换电站需求侧响应的现状及存在的问题，设计一体化直流母线结构的储能系统，并通过能量管理系统（EMS）和电池管理系统（BMS）实现精确控制和实时监测。针对不同运行场景，制定灵活的充放电策略，确保系统在削峰填谷和需求侧响应中的高效运行。

随着电动汽车和可再生能源的快速普及，传统充电站和电力系统面临着诸多挑战，如电能质量不稳定、用电高峰时段电网负荷过重等问题。这些问题不仅影响电力系统的稳定运行，也限制电动汽车的广泛应用。传统技术无法有效应对这些挑战，迫切需要新的解决方案。基于电力储能柜的智能充换电场站作为一种创新技术，通过储能与需求侧响应相结合，不仅能够实现削峰填谷，降低电力成本，还能提高电能利用效率，提供稳定的应急电源，优化电能质量。此外，该技术还具备灵活性和扩展性，能够更好地适应电网的动态需求，为电力系统的智能化和可持续发展提供强有力的支持。这些优势使得智能充换电场站成为未来电力系统发展的重要方向。

换电站需求侧响应现状

传统换电站通常采用固定电池储能系统，这种系统在容量和功率方面难以灵活调整，导致其在高峰负荷时段无法有效参与需求侧响应。储能系统的固定配置限制换电站在不同负荷需求下的调度能力，难以应对电网的动态变化。当前换电站的改造和运营成本较高，单站改造费用高达78万元，而年参与需求侧响应的时间仅为15天左右。这种情况

下，换电站在需求侧响应中的收益无法覆盖其高昂的改造和运营成本，导致其经济性和可行性较差。在参与需求响应期间，换电站需停止正常的充换电服务，这不仅降低换电站的利用率，还对用户造成极大的不便，甚至可能引发用户的不满和舆情事件。现有换电站的能源管理系统（EMS）功能单一，数据采集和处理能力有限，难以实现对多种电力资源的优化调度和实时控制，EMS缺乏智能化和灵活性的调度能力，导致换电站在需求侧响应中的响应速度和调度效率较低，难以满足电网快速变化的需求。

针对以上问题，研究和应用新型电力储能柜可以实现容量和功率的灵活调节，还能通过一体化直流母线结构优化电力传输效率。基于虚拟电厂架构的智能充换电场站，能够实现对分布式能源、储能设备和负荷资源的统一调度和智能控制，显著提高换电站的需求侧响应能力，降低用电成本，提升系统的整体经济性和可靠性。

基于电力储能柜的智能充换电场站能效控制方法

1. 储能系统优化

储能系统的拓扑结构设计选用一体化直流母线

结构，相比传统的外挂式交流母线设计，具有电能传输效率高、系统稳定性强等优势。该系统通过集成电池管理系统（BMS）、能量管理系统（EMS）和电力变流器（PCS），实现对储能单元的精确控制和实时监测，确保系统运行的安全性和可靠性。

电池系统作为储能系统的核心组件，选用高能量密度、长寿命的锂离子电池，结合智能BMS，能够有效管理电池的充放电过程，延长电池使用寿命，提升系统的经济性。变流器的设计侧重于提高电能转换效率，采用双向变流技术，使储能系统既能从电网充电，又能在需要时向电网放电，满足多样化的需求侧响应需求。

EMS软件模块使用时间序列分析和线性规划算法对系统进行预测和优化，确保在不同负荷和电价条件下，储能系统始终处于最佳运行状态。

时间序列分析用于预测未来的电力需求和电价，首先对历史电力负荷和电价数据进行预处理，采用自回归积分滑动平均模型（ARIMA）对预处理后的数据进行建模，利用训练好的模型对未来的电力需求和电价进行预测。即

$$\hat{P}(t) = \alpha + \sum_{i=1}^p \phi_i P(t-i) + \sum_{j=1}^q \theta_j \epsilon(t-j) + \epsilon(t) \quad (1)$$

式中， $\hat{P}$ 为预测的负荷值； α 为常数项； ϕ_i 和 θ_j 分别为ARIMA模型的参数； $\epsilon(t)$ 为随机误差项。

式（1）通过考虑前期负荷值和随机误差项的综合影响，预测未来的电力需求和电价。

线性规划算法用于优化充放电策略，先建立目标函数为最大化储能系统的经济效益，设置约束条件包括电池容量限制、充放电功率限制以及电价波动限制，之后求得最优解为

$$\text{Maximize } Z = \sum_{t=1}^T (P_{\text{sell}}(t) E_{\text{discharge}}(t) - P_{\text{buy}}(t) E_{\text{charge}}(t)) \quad (2)$$

式中，MaximizeZ为最大化总收益； $P_{\text{sell}}(t)$ 和 $P_{\text{buy}}(t)$ 分别为放电和充电时的电价； $E_{\text{discharge}}(t)$ 和 $E_{\text{charge}}(t)$ 分别为放电和充电的电量。

式（2）说明需要在放电和充电过程中尽量获取电价差的收益，从而最大化经济效益。

2. 充换电策略优化

基于电力负荷规律对充放电策略进行深入研究。首先需要对乘用车换电站的典型负荷曲线进行研究，明确电站在不同时间段的电力需求特点。结合所在区域的峰谷电价机制，合理制定充放电计

划，以削峰填谷为主要目标，充分利用电价差异实现经济收益。

充换电策略通过安装在储能系统和负荷侧的传感器，实时采集电压、电流和温度等参数，确保系统在安全范围内运行。数据处理系统对采集的数据进行分析，针对不同的运行场景，生成灵活优化的充放电策略，在普通负荷运行期间，系统主要采用恒流充电、恒压充电和恒功率充电模式，以确保电池的安全高效充电。在高负荷需求响应期间，系统则需要快速响应电网指令，采用恒流放电和恒功率放电模式，及时提供或吸收电能，以稳定电网运行。

储能系统与电网之间需建立可靠的通信通道，通过104规约点表实现数据的双向传输和远程控制。这种通信接口不仅能确保电网与储能系统之间的实时信息交互，还能在电力市场信号变化时，快速调整储能系统的运行状态，提升系统的响应速度和灵活性。如图1所示。

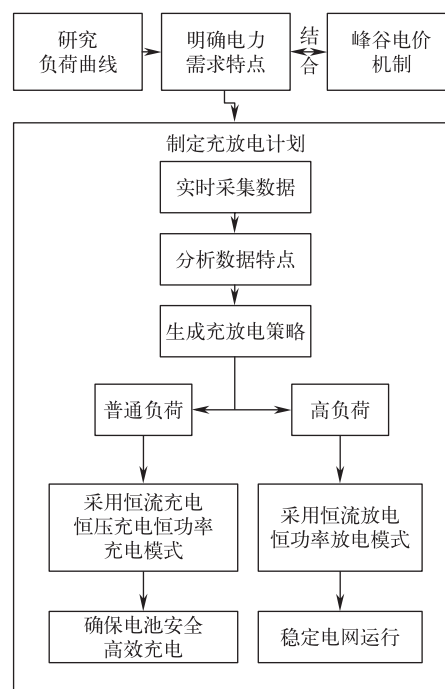


图1 充换电策略工作流程

3. 可移动可拓展的储能柜

储能柜的模块化设计使其具备高度的可移动性和可扩展性。模块化设计不仅简化储能柜的安装和维护过程，还能够根据实际需求灵活调整储能容量和功率输出。每个模块均配备独立的控制和保护系

统，确保在故障情况下能够快速定位和隔离问题，避免对整体系统造成影响。模块化设计还便于储能柜在不同场景下的部署，如应急电源、峰谷调节和需求侧响应等。

储能柜采用高强度的机柜材料和先进的防震技术，确保在运输和运行过程中能够抵御外部冲击和振动。储能柜内部配备高效的空气过滤和冷却系统，防止灰尘和高温对系统组件的损害，保证系统在各种恶劣环境下的稳定运行。

可移动可拓展储能柜具备较高的性价比和环境友好性。储能柜利用优化系统设计和选用高效组件，来降低储能柜的制造和维护成本。储能柜采用环保材料和高效能量管理技术，减少储能柜的碳足迹和环境影响，推动新能源产业的可持续发展。

项目能效提升分析

1. 项目介绍

本研究项目依托湖北省电动乘用车换电站，项目设计了可移动、可拓展的共享式模块化储能柜，采用一体化直流母线结构，集成电池管理系统（BMS）、能量管理系统（EMS）和电力变流器（PCS）等关键设备。通过虚拟电厂平台，对分布式能源、储能设备和负荷资源进行统一调度和智能控制，提高储能系统的灵活性和响应速度。

本项目设计在换电站内建设模块化储能柜系统，在特殊时段根据电网需求提供需求侧响应服务；在非特殊时段，利用谷电时段低价电力充电，在峰电或平电时段向换电站供电或与市电联合供

电。通过合理优化充放电策略，在确保换电站本体安全可靠用电的前提下，利用峰谷电价差获取收益，提升项目经济性。

通过本项目的实施，预计在换电站内部署的储能系统总容量将达到8~16 MW·h，显著提高换电站在需求侧响应中的参与度和经济效益。项目的成功应用不仅能够为换电站提供稳定的应急电源，解决增容难点，还能优化电能质量，减少电网负荷波动，推动智能电网和新能源产业的可持续发展。

2. 经济效益分析

根据湖北区域峰谷电价政策，在“两充两放”模式下，并考虑电池年衰减的条件，200 kW·h储能柜在10年内的削峰填谷收益可达37.61万元。储能柜在谷电时段充电，利用低电价储备电能；在峰电时段放电，利用高电价将电能释放给负荷或电网，获取电价差收益。具体计算如下。

谷值充电电费：每年约为6.58万元（第1年），逐年递减至5.26万元（第10年）。

高峰放电收入：每年约为10.79万元（第1年），逐年递减至8.63万元（第10年）。

综合以上，项目在运营期内的总削峰填谷收益为37.61万元，投资额约为22万元，项目总体收益率达137%。

在需求侧响应方面，假设每年有20天参与需求侧响应，每天放电2 h，总放电量4 000 kW·h，以4元/kW·h计算，年收益为1.6万元。见表1，考虑电池余能每年衰减2%，在10年内的累计需求侧响应收益为14.56万元。

表1 需求侧收益

年数	第1年	第2年	第3年	第4年	第5年	第6年	第7年	第8年	第9年	第10年	累计
收益/万元	1.6	1.568	1.536	1.504	1.472	1.44	1.408	1.376	1.344	1.312	14.56

结合削峰填谷和需求侧响应的收益，储能柜在10年内的总收益为52.17万元。在快充和超充场站进一步推广本设备的情况下，每年削峰填谷和需求侧响应的总收益预计将达到60亿元，净收益可达25亿元。

3. 社会效益分析

本项目通过智能充换电场的建设，显著提升了电动汽车的充电效率和用户体验。随着电动汽车的普及，充电基础设施的完善成为关键因素。项目的实施不仅能够满足当前电动汽车快速增长的充电

需求，还能够通过储能技术的应用，缓解充电高峰对电网的压力，推动电动汽车产业的可持续发展。

储能系统的应用能够显著减少传统发电方式的依赖，降低化石燃料的消耗，从而减少温室气体和其他有害物质的排放。

特别是在需求侧响应和削峰填谷过程中，通过优化电力使用，提高可再生能源的利用率，减少火电厂在高峰时段的运行时间，进而减少CO₂、SO₂等污染物的排放，助力实现碳达峰、碳中和目标。

结束语

在配电网的现代管理中,配电系统的稳定运行至关重要。传统的单一通信方法在应对复杂多变的线损异常时表现出了一定的局限性。多通信信道监测技术整合光纤通信、无线传感网络和电力载波通信,提高了数据传输的实时性和可靠性,确保了异常信息的快速传输和准确识别。应用多通信信道监测技术,配电网能够实现更高效、更可靠的线损异常检测和处理,从而提升整体电能质量,减少因异常引起的停电时间和经济损失。未来的研究可以进一步优化多通信信道网络的架构和协议,结合先进的深度学习算法和大数据分析技术,进一步提高线损异常预测和诊断的准确度和响应速度。EA

(收稿日期:2024-08-25)

参考文献

[1] 钟鸣,杨志勇,张亚光,等.大规模直驱风电

场经柔直送出系统交直流线路故障特征分析[J/OL].内蒙古电力技术,1-10[2024-07-26].

[2] 徐国勇,刘磊,李健晖,等.高压直流输电换流站作业环境合成电场强度分析[J].环境与职业医学,2023,40(8):931-935.

[3] 徐辉,李炜.基于磷酸铁锂电池的电力储能抗震机柜模态分析[J].机械工程师,2022(12):17-20+26.

[4] 张俊,向柯宇,卓名鹏,等.台区级电力系统一体化储能柜的设计[J].集成电路应用,2022,39(6):69-71.

[5] 李宇辉.电力系统一次设备智能化升级改造分析及应用[J].中国新技术新产品,2020(17):28-29.

