

[虚拟电厂]

考虑共享储能容量配置的虚拟电厂优化运行方法探讨

文/刘思广¹ 李成¹ 方超²

1. 国家电投集团江苏电力有限公司; 2. 上海发电设备成套设计研究院有限责任公司

探讨共享储能容量配置的虚拟电厂优化运行方式。虚拟电厂通过整合多种分布式能源资源, 实现了能源的高效利用和电力系统的稳定运行。共享储能容量配置作为虚拟电厂的核心要素, 对于优化其运行方式具有关键作用。

虚拟电厂通过整合多种分布式能源资源, 实现能源的高效利用和电力系统的稳定运行。共享储能容量配置作为虚拟电厂的核心要素, 对于优化其运行方式具有关键作用。通过精准预测能源需求和供应情况, 结合先进的储能技术, 虚拟电厂能够实现电能的时空转移和平衡, 从而提高电力系统的稳定性和经济性。此外, 通过建立智能化的调度与控制系统, 虚拟电厂能够实时调整储能资源的充放电策略, 以应对电力负荷的波动和可再生能源的不确定性。这种优化运行方式不仅提高能源利用效率, 还有助于减少弃风、弃光等现象, 促进可再生能源的大规模接入和消纳。总体而言, 共享储能容量配置的虚拟电厂优化运行方式有助于提升电力系统的稳定性、经济性和可再生能源的消纳能力, 为未来的可持续能源发展提供有力支撑。

含共享储能的虚拟电厂运营机制

1) 储能资源共享原则。虚拟电厂中的共享储能资源应遵循公平、高效和可持续的原则。公平原则要求所有参与虚拟电厂的成员在储能资源使用上享有平等的权利和机会; 高效原则强调储能资源的配置和利用应以提升整体运行效率为目标; 可持续原则关注储能资源的长期利用和环境保护。

2) 虚拟电厂组织架构。虚拟电厂的组织架构应

具备灵活性和可扩展性, 以适应不断变化的电力市场需求。建议采用分级管理的模式, 设立运营管理层、技术支持层和市场交易层。运营管理层负责虚拟电厂的整体规划和日常运营; 技术支持层负责储能设施的技术研发和维护; 市场交易层则负责与外部市场的对接和交易。

3) 储能设施接入标准。为确保虚拟电厂的安全、稳定运行, 储能设施的接入应遵循统一的标准和规范。这些标准应包括储能设施的技术性能、安全性能和环保性能等方面的要求, 以及接入和退出虚拟电厂的流程和条件。

4) 运营调度与控制策略。虚拟电厂的运营调度与控制策略应以优化能源配置、提高运行效率为目标。通过实时监测和分析电力系统的运行状态, 灵活调整储能设施的充放电策略, 以实现电力负荷的平衡和可再生能源的消纳。

5) 市场交易与价格机制。虚拟电厂应积极参与电力市场交易, 通过合理的价格机制反映储能资源的价值。建议建立基于市场供需关系和竞价机制的电价形成机制, 以促进储能资源的有效利用和电力市场的健康发展。

6) 利益分配与激励机制。为确保虚拟电厂的稳定运行和持续发展, 应建立合理的利益分配与激励机制。通过明确各方在虚拟电厂中的权益和责任,

以及设定与运营绩效挂钩的奖励和惩罚措施，激发各参与方的积极性和创造力。

7) 监管与风险防控措施。虚拟电厂的运营应受到有效的监管和风险管理。建议建立完善的监管体系和风险评估机制，及时发现和解决运营中的问题和风险，确保虚拟电厂的安全、稳定运行。

8) 技术支持与创新应用。技术创新是推动虚拟电厂发展的关键。虚拟电厂应加强与科研机构、高校等的合作，引入先进的技术和管理经验，提高储能设施的技术水平和运行效率。同时，积极探索储能设施在其他领域的应用，推动储能技术的多元化发展。总之，含共享储能的虚拟电厂运营机制需要在多个方面进行综合考虑和规划，以确保其高效、稳定和可持续发展。共享储能可以使所有用户共同承担储能成本，共同享受储能服务，其在商业模式、定价机制上的创新可以有效地实时应用并带动储能技术的飞速发展。

本文所研究的虚拟电厂主要包含光伏发电机组、风力发电机组和可控负荷；共享储能的商业模式采取了用户共享自有储能的形式，该方式由共享储能运营商负责投资建设、运营及维护，且向用户提供储能服务。本文设计的多VPP系统由3个互联的VPP所组成，各个VPP之间相互连接且有相互通信能力，既相互联系，又相互独立（3个VPP可以优先实现组内互供，即可以在电力功率不足时，优先从相邻的VPP调取多余的电力，或在电力过剩时，优先向其他VPP供给多余的电力；当系统中出现大量电力不足现象时，则可以从共享储能运营商以及电网当中购电）。含共享储能电站的虚拟电厂群基本结构如图1所示。

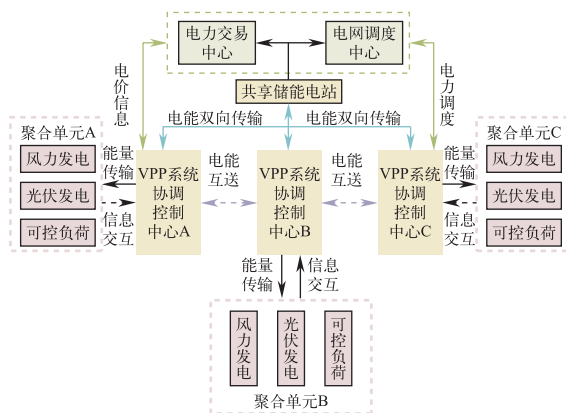


图1 含共享储能的VPP群基本结构

电厂双层决策博弈模型

构建含共享储能的虚拟电厂双层决策博弈模型需要涉及多个方面，包括虚拟电厂的架构、储能系统的特性、双层决策机制以及参与者的博弈行为。以下是一个简化的模型构建框架，用于描述这一过程。

1) 虚拟电厂架构。①虚拟电厂组成。包含多种分布式能源资源（DERs），如光伏、风电和电池储能系统等。②共享储能系统。一个或多个储能系统，用于在虚拟电厂内部实现电能的存储和调度。

2) 储能系统特性。①储能容量。确定储能系统可以存储的最大和最小电量。②充放电效率。储能系统充放电过程中的能量损失。③响应时间。储能系统从接收到调度指令到开始充放电的时间。

3) 双层决策机制。①上层决策。虚拟电厂运营商（VPO）根据电力市场情况、能源预测等信息，制定运营策略。②下层决策。DER所有者根据VPO提供的运营策略、市场价格等信息，决定自身的出力计划和储能使用策略。

4) 博弈行为。①参与者。虚拟电厂运营商（VPO）和DER所有者。②博弈策略。VPO策略设置市场价格、调度指令等；DER所有者策略决定是否接受VPO的调度指令，以及自身的出力计划。

5) 博弈目标。①VPO目标。最大化虚拟电厂的总收益和运营效率。②DER所有者目标。最大化自身的收益。

6) 模型数据。①市场数据。电力市场价格、需求预测等。②能源数据。DERs的出力预测、储能系统的状态等。③决策数据。VPO的调度指令、DER所有者的响应等。

7) 模型构建步骤。①数据收集与处理。收集市场、能源和决策等相关数据，并进行预处理。②模型设定。根据虚拟电厂的架构和储能系统特性，设定模型参数。③上层决策建模。构建VPO的优化模型，考虑电力市场、能源预测等因素。④下层决策建模。构建DER所有者的决策模型，考虑市场价格、调度指令等因素。⑤博弈过程模拟。模拟VPO和DER所有者之间的博弈过程，包括策略选择和结果反馈。⑥模型评估与优化。根据模拟结果评估模

型性能，并进行必要的优化调整。

8) 注意事项。①数据质量与准确性。确保输入数据的质量和准确性对模型结果至关重要。②模型简化与复杂性。在构建模型时需要在准确性和复杂性之间找到平衡。③参与者行为多样性。考虑到DER所有者的多样性，可能需要采用更复杂的博弈模型。

虚拟电厂优化案例数据分析：考虑共享储能容量配置

1. 案例背景

随着可再生能源的大规模接入，电力系统面临越来越多的不确定性。为平抑这种不确定性，虚拟电厂应运而生。虚拟电厂通过集成多种分布式能源，实现资源的优化配置和高效利用。而共享储能系统作为虚拟电厂的重要组成部分，其容量配置直接影响到虚拟电厂的运行效果。算例采用的含共享储能的多虚拟电厂系统包含3个虚拟电厂VPP_A、VPP_B和VPP_C，各虚拟电厂均与共享储能电站直接相连，并且3个虚拟电厂相互之间可以实现功率交互。电价参数如图2所示。从电网购电电价按照分时电价进行设置。虚拟电厂向储能电站支付的服务费，按照单价0.33 元/(kW·h)收取，储能电站使用寿命30 a。3个虚拟电厂的光伏、风电预测出力数据以及负荷预测曲线如图3所示（按照季节划分，一年分为4个典型日，一个典型日91 d，每个典型日对应的调度时间为24 h，每个调度时段为1 h）。

从图3中可以清晰地看出，VPP_A负荷量变化整体较为平稳，仅在上午7:00—9:00 之间有急剧的变化；VPP_B负荷量整体变化趋势则较为激烈，在下午13:00—15:00负荷量达到峰值；VPP_C负荷量同样在下午13:00—15:00 负荷量达到峰值，但其余时间负荷变化趋势相比VPP_B平缓。VPP_A与VPP_B的风光预测出力变化趋势相似，但VPP_A的风光机组出力较VPP_B大，而VPP_C风光出力在13:00 时较大。3个VPP在不向电网及储能电网购电、只依靠新能源发电的情况下，均会发生严重的弃风弃光现象，同时某些时段也会造成供电不足的问题，新能源消纳率较低。通过设置以下3种不同的场景来进行对比分析。场景1：3个VPP独立参与市场交易，且无功率相互传输。

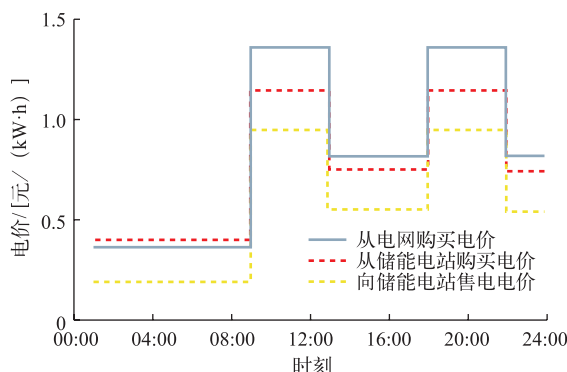
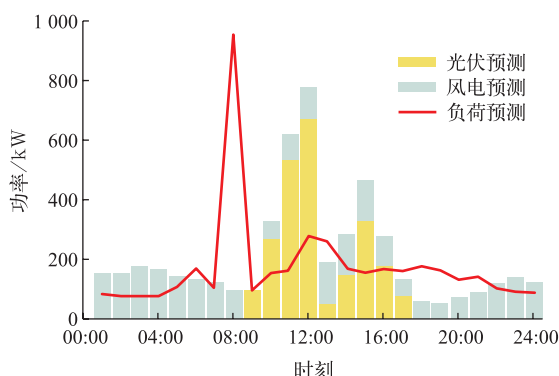
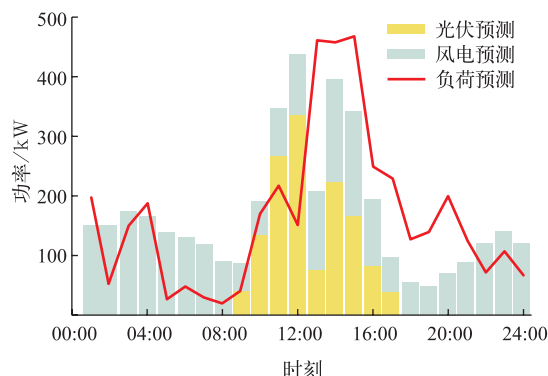


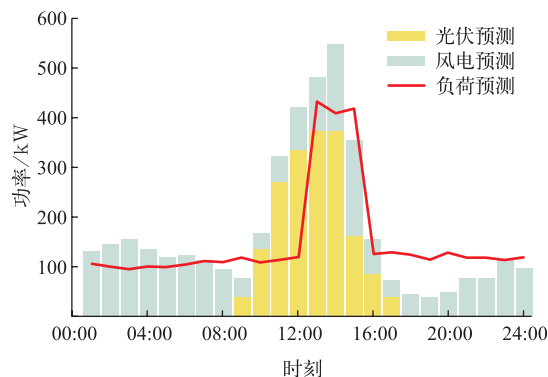
图2 电价参数



(a) VPP_A风光及负荷预测值



(b) VPP_B风光及负荷预测值



(c) VPP_C风光及负荷预测值

图3 3个VPP的风光出力及负荷预测

2. 数据收集与处理

本次案例分析选取一个典型的虚拟电厂作为研究对象，收集该虚拟电厂一年的运行数据。数据包括发电量、负荷需求和电价等多个维度。通过对这些数据进行预处理和清洗，确保数据的准确性和有效性。

3. 模型构建与优化

1) 模型构建。基于虚拟电厂的运行特点和储能系统的技术特性，构建一个包含储能容量配置、能量调度等多个因素的优化模型。该模型以最小化运行成本为目标函数，考虑系统的能量平衡、储能系统的充放电约束等条件。

2) 模型优化。采用遗传算法对模型进行优化求解。通过多次迭代和计算，得到最优的储能容量配置方案。优化过程中，不仅考虑储能系统的经济性，还兼顾其对系统稳定性的影响。

4. 结果分析与讨论

1) 经济性分析。通过对比不同储能容量配置方案下的运行成本，发现优化后的储能容量配置能够显著降低虚拟电厂的运行成本。具体而言，当储能容量为某一特定值时，虚拟电厂的运行成本达到最低。说明在该容量下，储能系统能够充分发挥作用，实现资源的最大化利用。

2) 系统稳定性分析。通过对比优化前后的系统稳定性指标，发现优化后的储能容量配置能够显著提高系统的稳定性。这主要体现在系统能量平衡的改善和负荷波动的平抑上。优化后的储能系统能够在高峰时段释放能量，缓解系统压力；在低谷时段吸收多余能量，减少能源浪费。

3) 讨论。虽然优化后的储能容量配置方案在经济性和稳定性方面均表现出较好的性能，但仍存在一些局限性。例如储能系统的建设成本较高，可能限制其在实际应用中的推广。此外，储能技术的进一步发展也是提高虚拟电厂性能的关键。未来可以考虑采用更先进的储能技术，如固态电池等，以提高储能系统的效率和寿命。

通过本次案例分析，可以得出以下结论：考虑共享储能容量配置的虚拟电厂优化能够提高系统的经济性和稳定性。在实际应用中，应根据具体情况选择合适的储能容量配置方案，并关注储能技术的最新发展，以实现虚拟电厂的高效运行和可持续发

展。展望未来，随着可再生能源的大规模接入和电力系统的不断升级，虚拟电厂将在能源领域发挥越来越重要的作用。同时，储能技术的不断创新和进步也将为虚拟电厂的优化提供有力支持。未来可以进一步探讨虚拟电厂与储能技术的融合发展，推动能源行业的绿色转型和可持续发展。

虚拟电厂优化运行方式和共享储能容量配置的要点

随着可再生能源的大规模接入和电力市场的逐步开放，电力系统的运行和调度面临着越来越多的挑战。其中，储能技术的应用对于提高电力系统的稳定性、经济性以及可再生能源的消纳能力具有重要意义。虚拟电厂作为一种创新的电力组织模式，通过整合分散的分布式能源资源，实现资源的优化配置和高效利用。而共享储能容量配置则是虚拟电厂运行的关键环节，对于提升虚拟电厂的运行效率和经济效益具有决定性作用。

虚拟电厂的优化运行方式主要包括以下几个方面：

1) 能源预测与管理。通过对分布式能源资源的实时监测和预测，实现能源的优化调度和管理。通过精准的预测数据，可以有效减少能源的浪费和短缺现象，提高能源利用效率。

2) 需求响应管理。通过引导用户改变用电行为，实现负荷的削峰填谷，降低电力系统的负荷压力。同时，通过需求响应管理，可以实现对可再生能源的消纳，提高电力系统的稳定性。

3) 储能资源管理。通过合理配置储能资源，实现电能的时空转移和优化利用。在电力供应充足时，将多余的电能储存起来；在电力供应紧张时，释放储存的电能，以满足电力系统的需求。

共享储能容量配置的要点主要包括以下几个方面：

1) 储能资源的选择。根据虚拟电厂的运行需求和特点，选择合适的储能技术。常见的储能技术包括电池储能、超级电容储能和飞轮储能等。在选择储能技术时，需要综合考虑储能效率、成本和安全性等因素。

2) 储能容量的确定。根据虚拟电厂的运行数据和预测数据，合理确定储能容量。储能容量的确

定需要考虑电力系统的负荷特性、可再生能源的接入情况和电价波动等因素。通过合理的储能容量配置,可以实现电能的高效利用和经济效益的最大化。

3) 储能资源的调度与控制。通过建立完善的储能调度与控制系统,实现对储能资源的实时监测和控制。通过对储能资源的精确控制,可以实现电能的时空转移和优化利用,提高电力系统的稳定性和经济性。

结束语

虚拟电厂作为一种创新的电力组织模式,通过整合分散的分布式能源资源,为电力系统的稳定运行和经济调度提供了新的解决方案。储能技术在虚拟电厂中的应用,特别是共享储能容量配置的优化,对于提高虚拟电厂的运行效率和经济效益至关重要。本文所探讨的虚拟电厂优化运行方式和共享储能容量配置的要点,旨在为虚拟电厂的实际建设和运营提供理论支持和实践指导。随着技术的不断进步和市场的逐步开放,有理由相信,虚拟电厂将在未来电力系统中发挥更加重要的作用,为可持续发展和社会经济进步作出更大的贡献。**EA**

(收稿日期: 2024-06-03)

参考文献

[1] 柴金义. 电厂建设电气安装施工中存在的问题及预防措施[J]. 科技创新与应用, 2023,

(21): 222.

[2] 魏昀昭. 电力生产信息采集传输系统串口通信程序设计[J]. 信息与电脑(理论版), 2023, (12): 183-184.

[3] 王红片. 浅析机械技术在电厂综合自动化中的应用[J]. 黑龙江科技信息, 2023, (35): 69.

[4] 潘明杰, 解大, 王西田. 计及分布式资源调节特性差异的虚拟电厂响应策略[J]. 电力系统自动化, 2023, (18): 108-117.

[5] 李德波, 刘鹏宇, 刘宸, 等. 新型电力系统规划下燃煤电厂锅炉机组的发展[J]. 广东电力, 2023, (7): 3-13.

[6] 任语铮, 曾诗钦, 霍如, 等. 新型工业互联网标识解析体系探讨与实践[J]. 信息通信技术与政策. 2023, (8): 3.

[7] 曾鹏, 刘阳. 工业生产中工业互联网标识解析技术应用研究[J]. 自动化博览. 2023, (11). 46-48.

[8] 任语铮, 谢人超, 曾诗钦, 等. 工业互联网标识解析体系综述[J]. 通信学报. 2023, (11): 138.

[9] 林焕明, 邓立, 李清亮, 等. 天然气压缩机组防喘振与负荷分配控制技术研究[J]. 石油和化工设备, 2023, 24(12): 5-7.

[10] 张强, 王禹霖, 张茜. 基于剩余容量匹配的储能装置负荷分配控制技术[J]. 电力系统自动化, 2023, 44(24): 126-133.

