

用户侧分布式储能系统接入方式及控制策略分析

李建林¹, 靳文涛¹, 徐少华¹, 魏 达²

(¹中国电力科学研究院有限公司, 新能源与储能运行控制国家重点实验室, 北京 100192;

²湖南省德沃普储能有限公司, 湖南 邵阳 422800)

摘 要: 分布式储能系统在电力用户侧中的应用日益广泛, 且应用场景多样化, 对于电网来说是潜在的优良资源。然而其容量小、数量多、分布不均衡、单机接入成本高、系统操作及管理困难, 给电网的规划运营带来了日益严峻的挑战和技术难题。本文就用户侧中的分布式储能典型应用模式及接入方式进行介绍, 阐述各应用场景下分布式储能的应用模式和方案, 并分析了典型应用场景下的分布式储能运行效果。通过对分布式储能系统技术形态和载体的分析, 可为进一步研究分布式储能汇聚协调控制技术提供理论指导。

关键词: 分布式储能; 电力用户侧; 应用模式; 储能汇聚; 协调控制

doi: 10.12028/j.issn.2095-4239.2017.0147

中图分类号: TM 912

文献标志码: A

文章编号: 2095-4239(2018)01-080-10

Analysis of access mode and control strategy of distributed energy storage system on user side

LI Jianlin¹, JIN Wentao¹, XU Shaohua¹, WEI Da²

(¹State Key Laboratory of Operation and Control of Renewable Energy & Storage Systems, China Electric Power Research Institute Co. Ltd., Beijing 100192, China; ²Hunan Province Dovop Energy Storage Co. Ltd., Shaoyang 422800, Hunan, China)

Abstract: Distributed storage system is becoming more and more widely used in power users side. The Distributed storage system has a variety of application scenarios and it is a potentially good resource for power grids. However, it has the following problems the capacity of small quantity, uneven distribution, high cost of stand-alone access, system operation and management difficulties. These problems have brought serious challenges and technical problems to the planning and operation of power grid. This paper introduces the typical application mode and access mode of distributed energy storage on user side. The application mode and scheme of distributed energy storage under different application scenarios are described in this paper. We give the distributed energy storage effect in typical application scenarios. The analysis of the technology form and carrier of distributed energy storage will provide theoretical guidance for further research on distributed energy storage coordination control technology.

Key words: distributed energy storage; electric power user side; application mode; clustering energy storage; coordinated control

国内基于大规模电池储能技术开展了大量研究工作^[1-2], 在大规模可再生能源发电基地、输配电、

用户侧以及分布式发电与微电网等领域已建成了多项示范工程, 并开展了储能系统容量配置、控制策略等多项研究工作, 取得了许多研究成果^[3-4]。在国家政策大力支持下, 近年来我国分布式光伏保持快速发展势头^[5], 分布式光伏在区域电网中的渗透率越来越高, 对电网的安全稳定运行提出了严峻挑战^[6]。储能作为分布式可再生能源和智能微电网的关键技术^[7-8], 可提高其系统稳定性和供电可靠性、

收稿日期: 2017-09-12; 修改稿日期: 2017-09-19。

基金项目: 山西省重点研发计划重点项目(201603D112004), 国家重点研发计划(2017YFB0903504), 国家自然科学基金项目(51777197)。

第一作者: 李建林(1976—), 男, 教授级高工, 主要从事新能源并网、规模化储能电站系统集成、储能电站实证评估等方面的研究工作。

E-mail: lijianlin@epri.sgcc.com.cn; 通讯联系人: 靳文涛, 工程师, 主要从事风电场/光伏电站及微网中规模化储能系统集成及其应用控制策略的研究。E-mail: jinwentao@epri.sgcc.com.cn。

改善电能质量、削峰填谷、提高调节灵活性、参与需求响应等^[9-10]，从而增强可再生能源功率输出的可控性和稳定性，使其满足并网的要求。

文献[11]对大规模电池储能系统的 PCS 拓扑结构进行了分析，对储能电站的系统集成及接入方式未做进一步研究。文献[12]介绍了国内目前在新能源发电、输配电及用户侧、分布式电源及微电网、电力辅助服务应用领域中典型电池储能电站的应用情况，但就其具体接入方式未做详细描述及分析。文献[13]基于分布式电源接入配电网后保护和控制过程的通信需求，验证了满足分布式电源接入配电网的保护控制时延要求的通信方式。文献[14]研究表明分布式电源接入点越接近配电网末端，配电网电压升高效果越好，网损越小。文献[15]介绍了分布式光伏电源并网的标准与原则，以及分布式光伏电源并网的典型设计方案，并分析了并网的优化方式。

目前，多个企业单位已开始积极布局分布式储能建设，据不完全统计，2014 年 1 月至 2016 年 10 月，在国网公司运营范围内的多个省份，已经实施了 30 多个以削峰填谷为目标，且容量规模在 MW 级以上的分布式储能示范项目，累计容量达 200 MW。国网江苏省电力公司规划到 2020 年江苏省内储能累计容量达到 1000 MW，2017 年江苏省在南京、镇江、无锡等地共规划布点 17 个用户侧储能，总容量为 674.6 MW·h，累计输出功率为 101.3 MW，其当前用户侧储能的应用目标以削峰填谷（价差套利）和应急备用为主。

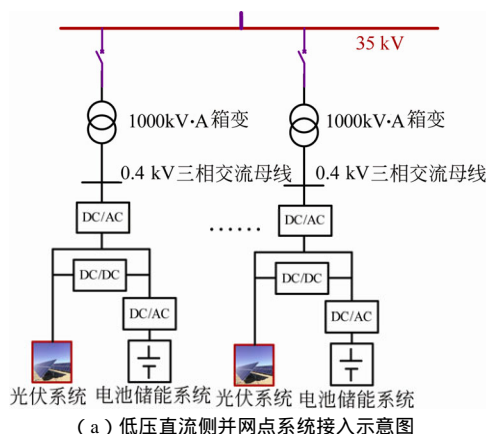
分散式布局的储能设备对于区域电网来说是潜在的优良资源，而分布式电源大量接入配电网存在容量小、数量多、分布不均衡、单机接入成本高、系统操作及管理困难等问题，且用户侧电网中分布式光伏、储能、负荷或拓扑结构不同，对分布式储能的系统调度带来一定的技术难题^[16-18]，为保证区域电网负荷的供电需求，研究闲置的碎片化分散式的储能装置的统一调控方法，充分盘活与调动全社会的闲置储能资源基于主动配电网中已有的储能资源，面向电网需求研究分布式储能的统一调度方法在实际工程中已有迫切需求。本文针对分布式储能的用户侧典型的应用模式，包括储能辅助光伏并网、负荷削峰填谷、提高电能质量与可靠性、光储充一体化等应用进行阐述，分析分布式储能不同的接入方式、运行控制策略、出力特性等技术形态与载体，

为进一步分析分布式储能汇聚协调控制技术提供理论指导。

1 辅助光伏功率并网应用

《储能系统接入配电网技术规定》（Q/GDW564—2010）中对电池储能系统接入配电网的接入方式做了一般性技术规定。分布式储能在用户侧电网中有多种运行模式，不同的运行模式、不同用户需求储能系统接入方式不同，现以 110（35）kV 变电站为例，研究储能系统在用户侧辅助光伏功率并网应用模式中的接入方式。利用储能系统不仅可以最大限度地平抑用户侧光伏输出功率波动，且可实现跟踪计划出力，其典型接线如图 1 所示。

图 1(a)为并网储能系统接入光伏低压直流侧的系统接入示意图，电池储能单元和光伏发电单元共用光伏逆变器，需要配置储能 DC/DC、DC/AC 模块，储能和光伏共用光伏逆变器对光伏逆变器的要求较高，设计中需考虑光伏逆变器控制策略和参数。当光伏逆变器出现故障时，责任体不明确。储能系统功率输入/输出受光伏输出功率和光伏逆变器约束。图 1(b)为并网储能系统接入光伏交流高压侧并网点的系统接入示意图，该交流母线连接方式，需要配置储能升压变，适合集中管理，且技术成熟度相对成熟，控制策略简单，储能系统功率输入/输出较独立。图 1(c)为并网储能系统接入光伏交流低压侧并网点的系统接入示意图，该接入方式中为低压交流母线接入方式，模块化设计，配置灵活，节省储能升压变的投资，控制策略相对接入方式(a)简单、较接入方式(b)复杂；相比接入方式(a)中减少了 DC/DC 的投资，需配置储能 DC/AC。储能系统功率输入/输出受光伏输出功率和上级升压变容量约束。



(a) 低压直流侧并网点系统接入示意图

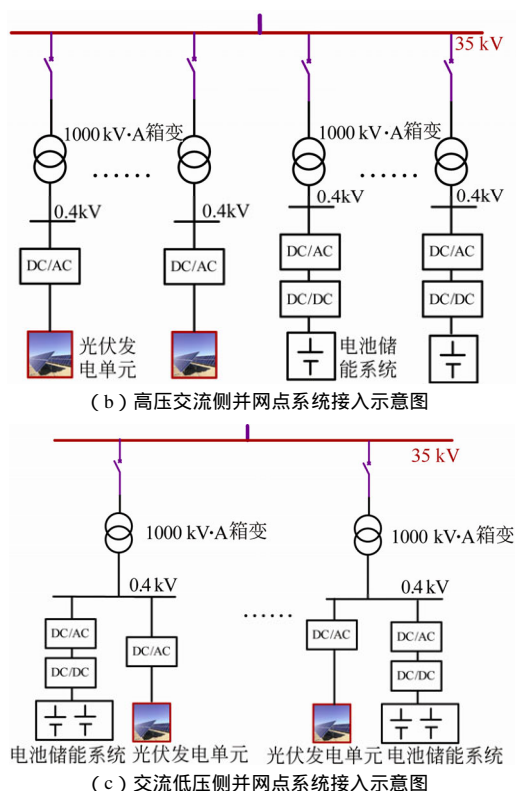


图1 辅助光伏并网的储能系统接入方式示意图

Fig.1 Schematic diagram of the ESS access system cooperate with PV grid

1.1 平滑光伏功率输出

为使光伏并网功率满足分钟级/10 分钟级最大

有功功率变化量限值要求,基于电池储能系统来平滑光伏输出功率波动,以电池储能系统 SOC 为反馈信号的能量管理控制策略,如图 2 所示。

为使光伏并网功率波动满足并网要求,以改善光伏电站出力特性、缩减光伏并网功率波动为目的;以优先满足分钟级光伏并网功率并网要求为控制原则,利用电池储能系统的充/放电特性,使分钟级的光伏功率在 $\pm \Delta P$ 的范围内波动,其次使 10 分钟级的光伏功率波动接近/满足的最大有功功率变化限值的要求^[9]。

1.2 跟踪计划出力

基于日前预测功率的光伏电站发电计划曲线与次日实际光伏功率输出存在较大偏差,为使光伏发电尽可能的与日前发电计划曲线匹配,减少两者间的偏差,提高光伏发电的可调度性,利用电池储能系统跟踪光伏发电计划出力的控制框图如图 3 所示(分布式应用的储能中暂无该功能)。

受储能输出功率、容量限制,光储输出功率曲线无法严格与调度计划一致,在尽可能满足光储输出曲线与调度曲线一致的前提下,充分考虑电池储能系统 SOC 变化,为留有足够充电和放电容量,在 SOC 反馈控制中使用模糊控制策略,尽可能使电池储能系统工作于 50% SOC 附近,进而在兼顾对发电计划跟踪的同时对 SOC 进行调整,较好的完成跟踪计划出力的工作。

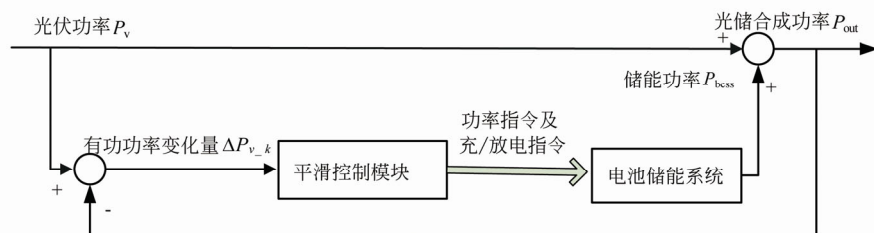


图2 平滑光伏出力波动控制框图

Fig.2 Control block diagram of smooth photovoltaic output fluctuations

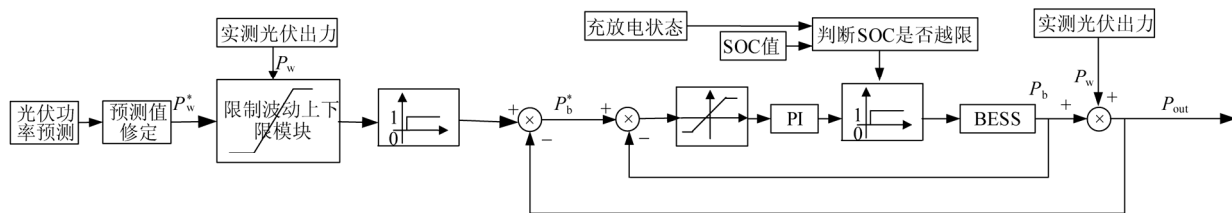


图3 跟踪计划出力控制框图

Fig.3 Control block diagram of Tracking program output

1.3 减少光伏电站弃光

减少光伏电站弃光控制策略是基于当前各发电单元的光伏发电量功率数据和其对应的单元储能系统当前容量状态，通过储能集群控制器下发各储能单元的功率指令，到基本并网控制单元，各单元储能系统通过充放电控制，达到减少光伏电站弃光限电的目的，具体程序流程如图 4 所示。

根据当前光伏电站实际功率数据和整体储能电

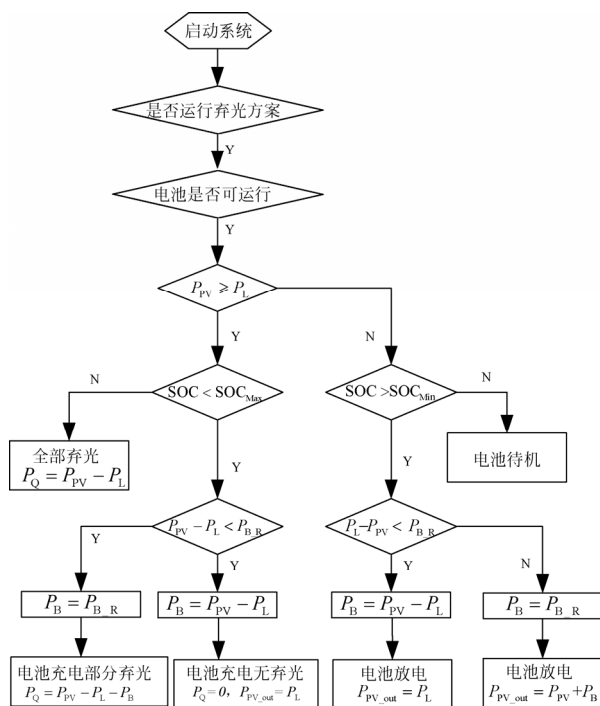


图 4 电池储能系统减少光伏电站弃光方案流程图

Fig.4 The solution flow chart of BESS to reduce PV power station discard

站系统容量以及当前光伏电站整体输出功率 P_{PV} 与当前光伏电站限电功率指令 P_L ，对储能电站输出/入功率值 P_B 进行分配，具体流程如图 5 所示。

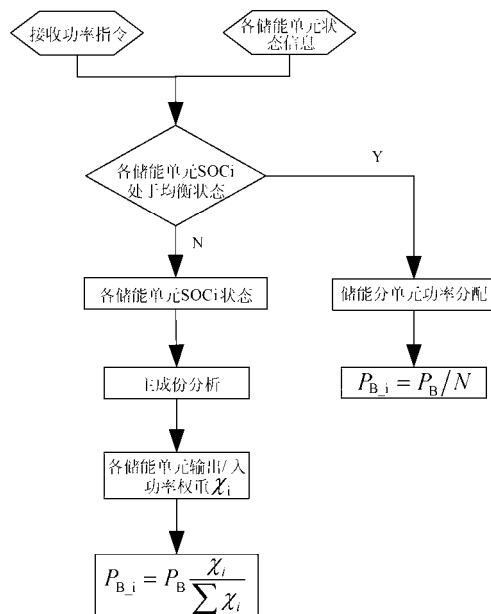


图 5 电池储能单元功率指令分配程图

Fig.5 The BES unit of the power distribution of instruction process diagram

2 负荷侧削峰填谷应用

基于当地的峰谷电价差，针对典型日负荷曲线，利用电池储能系统充放电控制，可实现园区/用户负荷用电的削峰填谷作用，降低园区负荷购电成本。负荷侧削峰填谷应用的电池储能系统典型接入拓扑结构如图 6 所示。

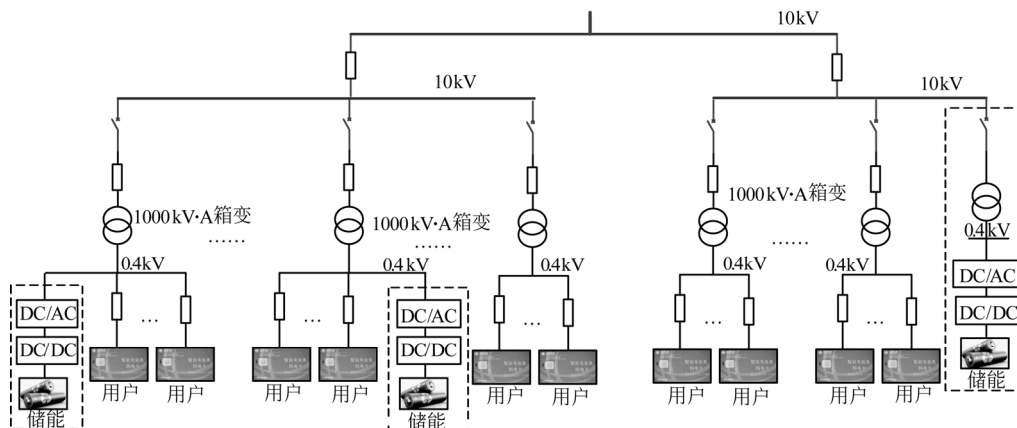


图 6 负荷侧削峰填谷应用储能系统接入示意图

Fig.6 Schematic diagram of BESS access when Peak cutting applications in load side

电池储能单元可接入用户侧交流母线低压侧,与用户共用上级升压变,也可作为独立的基本单元经储能系统自身升压变接入用户侧上级高压交流母线并网点。

国家发改委对江苏地区工商业上网电价进行了规定(发改价格〔2015〕748号),规定江苏地区用电高峰时间段为8:00~12:00和17:00~21:00,电价1.1002元/kW·h;谷段时间段为24:00~08:00,电价为0.3200元/kW·h;平段时间段为12:00~17:00和21:00~24:00,电价为0.6601元/kW·h,如图7所示。

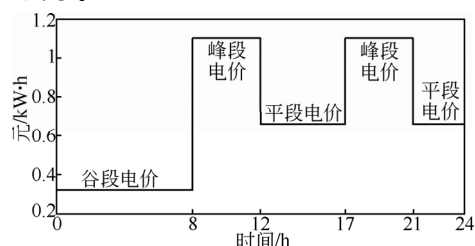


图7 江苏某地峰谷电价曲线

Fig. 7 peak valley price curve somewhere in Jiangsu

基于当地的峰谷电价差进行充放电控制,可充电时间为0:00~8:00和12:00~17:00,可放电时间为8:00~12:00和17:00~19:00,实现园区负荷用电的移峰填谷作用,减少园区负荷用电成本。

3 提高电能质量与供电可靠性

为保证某园区内重要负荷供电可靠性,以保证精密仪器加工成品率,在园区屋顶安装光伏容量460 kWp,锂电池储能容量为500 kW/660 kW·h。园区一级负荷约30 kW,重要负荷约为500 kW,该园区微网储能接入如图8所示,图8(a)、8(b)分别为储能系统接入直流、交流微电网时的系统接入拓扑结构示意图。

该园区储能系统可实现并网、离网之间的主动无缝切换。微网系统能够在外电网计划停电前,根据监控系统的控制指令,实现在PQ模式和VF模式之间的无缝切换,实现系统主电源的无缝切换。

园区储能系统的并网转离网运行,由微网监控系统发起,监控系统调节系统内各设备功率,使其

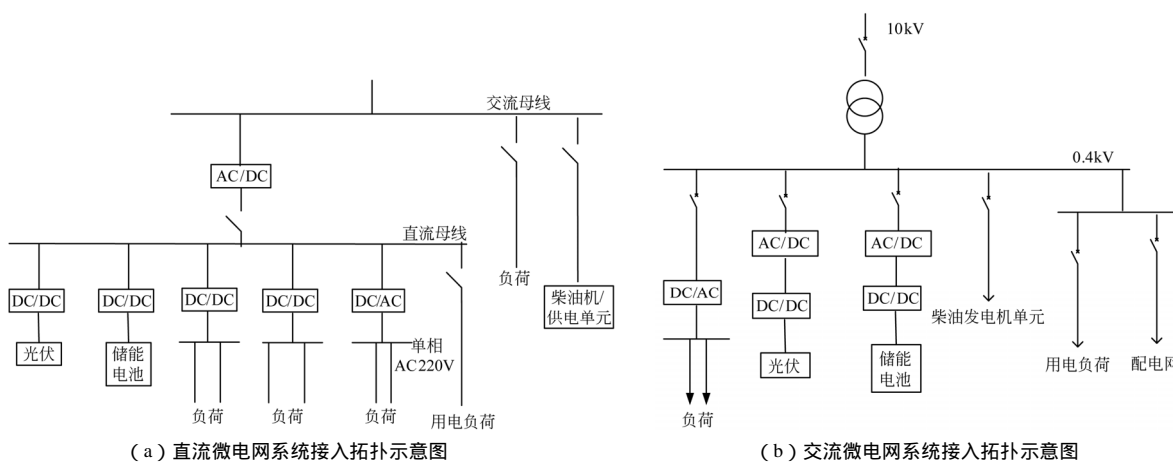


图8 微电网中储能接入示意图

Fig.8 Schematic diagram of BESS access in the Micro power grid

功率稳定至并网点处于小功率。令储能PCS迅速转换为VF运行模式,断开并网点开关。由储能作为系统孤网运行的功率支撑,这一过程中,微网内重要负荷不断电。

离网转并网运行,由监控系统控制模式控制器。模式控制器发出命令,储能控制器调整自身运行状态,与外部电网同步后闭合固态开关,微能源网转入并网运行模式,切换过程中能确保负荷的正常供电,各能源系统恢复正常工作状态。

为实现微电网内主储能PCS在PQ和VF两种控制模式之间的平滑切换,控制结构如图9所示。通过主电源逆变器在恒功率和恒压控制模式之间的快速切换,实现微电网运行模式的切换。

4 光储充一体化应用

目前电动汽车充电桩采用的恒流/恒压充电方式调节负荷的能力有限,单独靠电动汽车充电进行负荷调节效果不理想^[19]。电动汽车充电负荷具有时空双尺

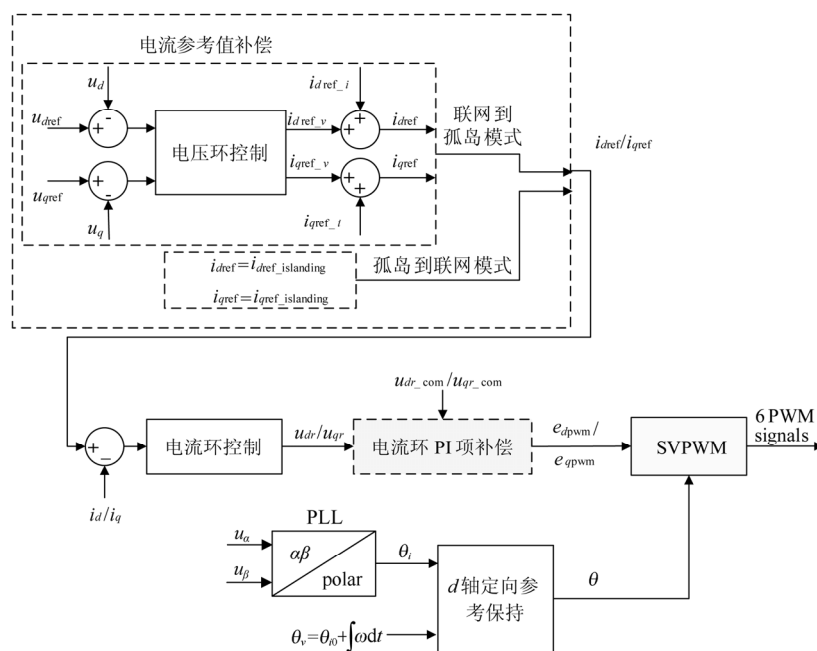


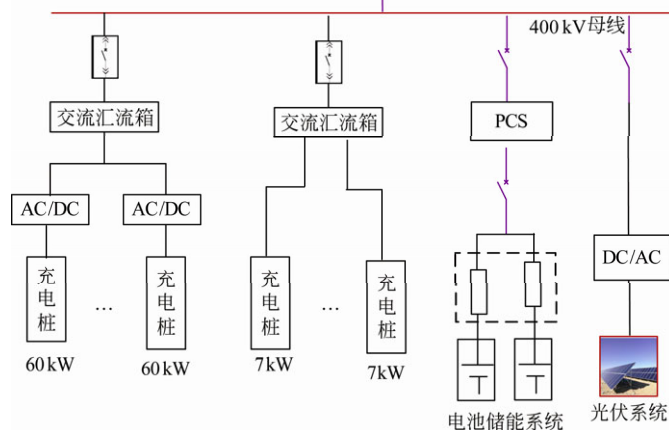
图 9 储能单元控制策略示意图

Fig.9 The control strategy sketch of the BESS unit

度的可调节性,利用此特性可在时间和空间上进行双尺度的负荷调度,使电动汽车充电负荷对电网运行产生积极的作用。电池储能系统接入含分布式光伏的电动汽车充电站的典型系统接线如图 10 所示。

图 10(a)为储能系统接入共交流低压侧并网点时的系统接入拓扑结构图;图 10(b)为储能系统接入共交流高压侧并网点时的系统接入拓扑结构图。根据目前我国电网运行现状,暂不考虑充电站向电网放电的工作模式。光伏发电的首要目标是服务电动汽车充电,在正常情况下光储充一体化电站并网运行,光伏发电系统优先为电动车充

电桩和场站内负荷供电,电能供给不足则由电网供电;光伏发电功率较大,满足场站内电动汽车及负荷用电需求,则为电池储能系统充电,多余的电力通过双向电能计量系统送入电网。夜间电动汽车充电桩及场站负荷用电优先由电池储能系统供给,功率不足或电能质量不满足要求时再由电网购电。当电网故障停止供电时,光储充一体化电站中的监控装置需检测到异常情况,并自动断开光伏发电的系统并网侧开关及负荷侧开关,维持电动汽车充电桩和光伏控制室的电力供应,确保充电站供电的持续可靠性。



(a)

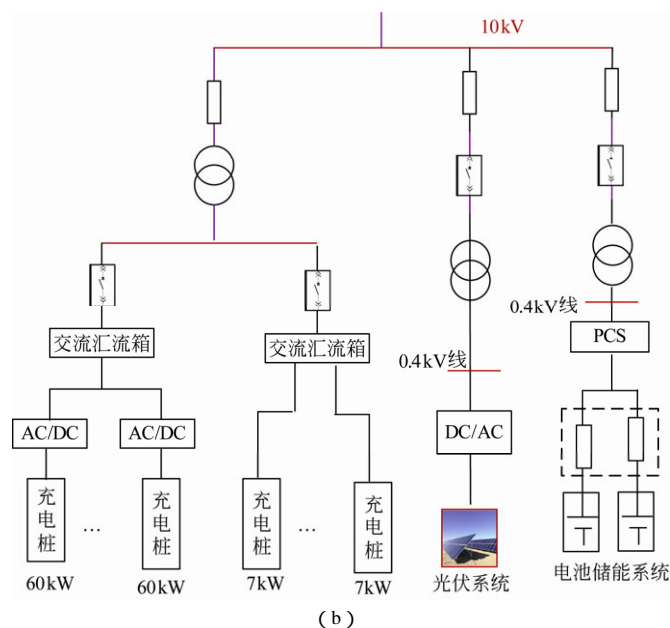


图 10 光储充一体化园区储能接入示意图

Fig.10 The schematic diagram of BESS in PV-BESS-charging pile park

5 典型应用模式算例

连云港某光伏电站装机申报规模 9 MW_p, 实际装机容量为 11.9 MW_p, 通过 10 个光伏逆变单元升压后接入光伏电站内 35 kV 配电装置, 以一回 35 kV 线路送至变电站。为减少光伏电站弃光限电, 配置了 2.5MW×3h 的全钒液流电池储能系统。采用图 1(c) 的拓扑形式以 500kW×3h 作为基本储能单元接入 1 MW_p 光伏发电单元交流低压侧, 共用 1250 kV·A 升压变, 接入 10kV 交流母线。采用电池储能系统减少光伏电站弃光限电, 控制效果如图 11 所示。

以典型晴天光伏电站输出功率曲线为样本数据,

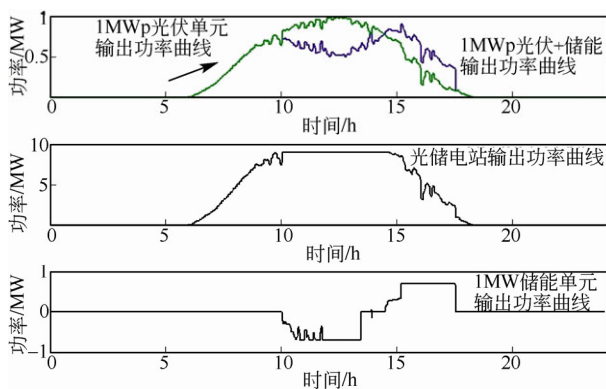


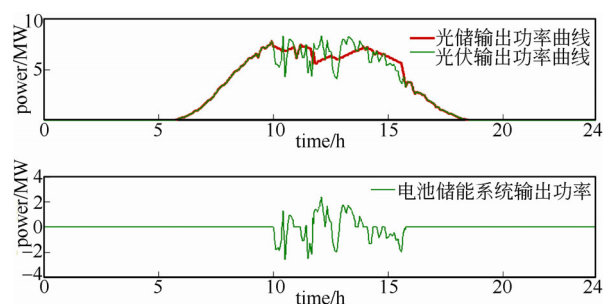
图 11 减少光伏电站弃光限电效果曲线

Fig.11 The curve of reduce the abandon PV power

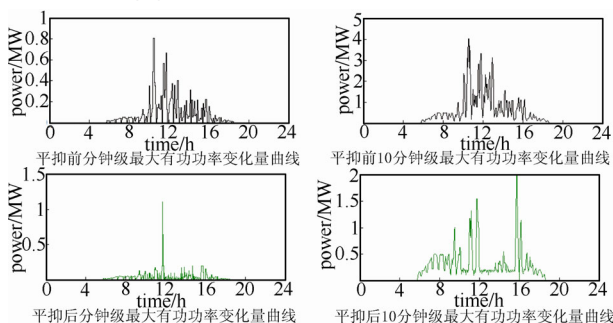
每天可直接并网光伏发电量约 80 MW·h, 光伏电站弃光电量约 8.82 MW·h; 通过电池储能系统的充放电控制可有效减少弃光电量。江苏地区分布式光伏并网上网自发自用收益在 0.95 ~ 1.25 元/(kW·h) 之间, 各地区略有不同。

以该光伏电站 9 MW 光伏单元输出功率数据作为样本数据, 仿真平抑光伏功率波动、跟踪计划出力控制效果如图 12 所示。

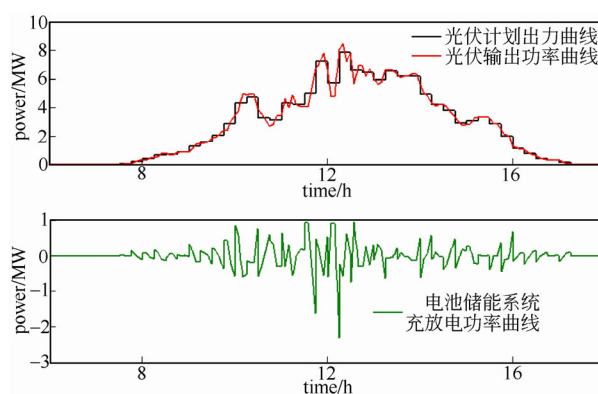
无锡某工业园区拥有 110 kV 变电站主变 3 台, 容量 2×40MV·A+63MV·A, 2#主变(40MVA)备用, 电压变比 110/10 kV, 110 kV 双母线接线, 10 kV 单母线三分段接线, 1#、3#主变无功补偿容量分别为 10 Mvar、8 Mvar。110 kV 变电站白天高峰负荷约 9 万千瓦, 晚间低谷负荷约 7.5 万千瓦, 其中, 1#主变高峰负荷约 3.4 万千瓦, 低谷负荷约 2.6 万千瓦, 3#主变高峰负荷约 5.6 万千瓦, 低谷负荷约 4.9 万千瓦。考虑到当地用电负荷和峰谷电价差, 为降低园区负荷用电成本, 其建设规模为 20 MW/160 MW·h 的电池储能系统(期 9 MW/72 MW·h), 使用 250 kWPCS 设备 80 台, 10 kV 升压变 14 台, 1600 kV·A 升压变 12 台, 1250 kV·A 升压变 2 台, 拟通过 6 个并网点(4 MW、4 MW、3 MW、3 MW、3 MW、3 MW)接入园区高压变电所 10 kV 母线, 其拓扑连接如图 13 所示。



(a) 平抑光伏电站功率波动控制效果曲线



(b) 平抑前后光伏电站分钟级/10 分钟级最大有功功率对比曲线



(c) 跟踪计划出力控制效果

图 12 辅助光伏电站并网功率控制曲线

Fig.12 The curve of the output control tracking program

考虑 期 9 MW/72 MW·h 锂离子电池储能系统综合运行效率为 95%，储能电站每天低谷时段充电电量约为 75.8 MW·h，第一个峰值电价时段放电并网电量为 34.2 MW·h，第一个平段电价时段电池储

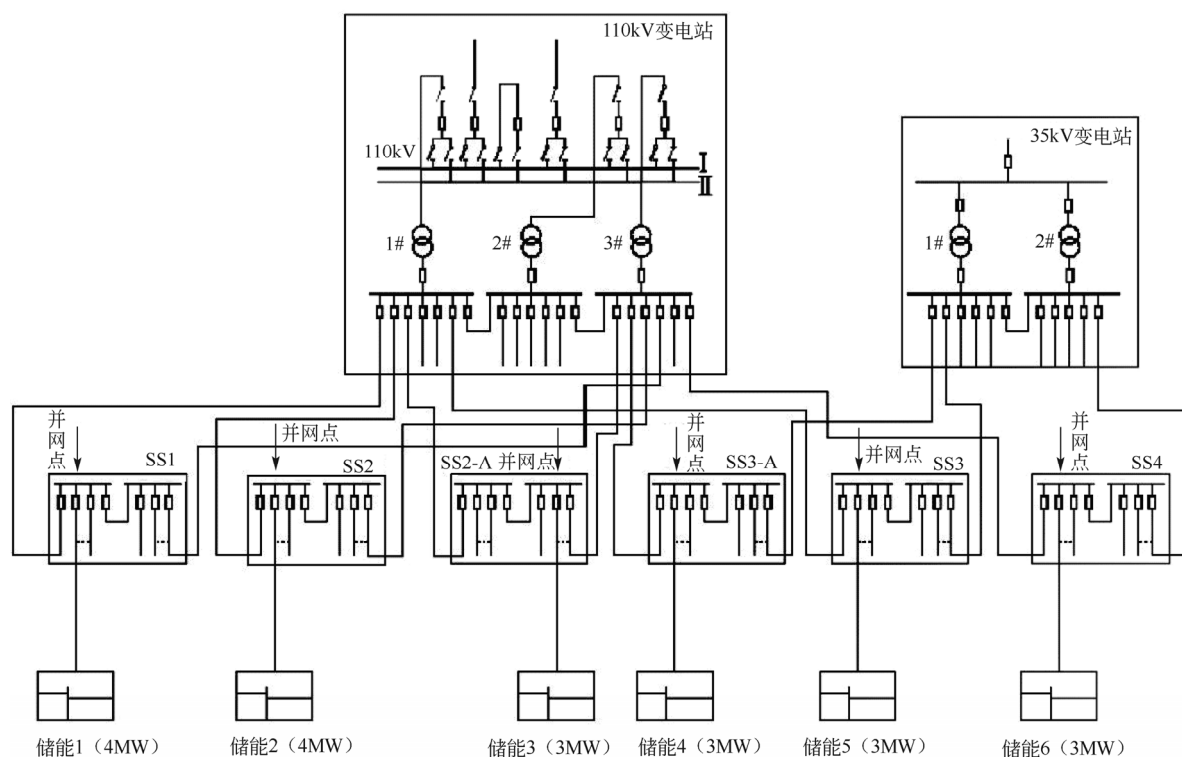


图 13 160 MW·h 储能系统接入示意图

Fig.13 Schematic diagram of 160 MW·h BESS connected to the grid

能系统热备用，第二个峰值电价时段放电电量为 34.2 MW·h，其 250 kW 储能单元充放电功率、电流曲线如图 14 所示。

深圳某居民园区微网示范。其中，屋顶光伏 460 kWp，锂电池储能 660 kW·h，采取典型交流接入方式，园区总负荷不大于 500 kW，微网内部负荷不大

于 30 kW, 主 PCS 离网运行—输出功率、电压曲线如图 15 所示。

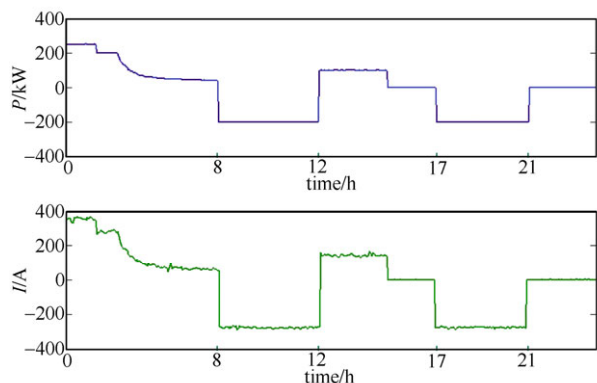


图 14 250 kW 储能基本单元充放电功率、电流曲线

Fig.14 Charge and discharge power and current curve of 250 kW energy storage basic unit

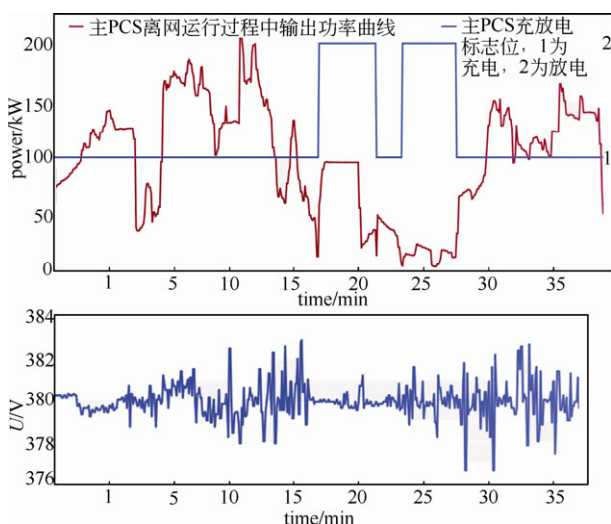


图 15 PCS 离网功率、离网电压曲线

Fig.15 Off-grid power, off-grid voltage curve

6 结 论

基于本文对用户侧典型分布式储能电站的系统接入及应用模式分析,可以得到如下结论。

(1) 分布式储能系统应用模式众多,各点电池储能系统控制策略、充放电功率、容量、SOC 等均存在差异,在考虑分布式储能的汇聚应用时,需要考虑有效汇聚时间、容量潜力、动态响应速度、设备故障率等因素。

(2) 各应用工况下的分布式储能运行策略及盈运模式不同,利用分布式储能汇聚协调控制,实现

电网的统一调度,需制定储能汇聚计费办法,通过引导电能消费行为,形成价格相关的“弹性”汇聚管理制度。

广域分布式储能系统存在相当规模的闲余时间和闲余容量,且存在通过整合汇聚本地目标和网侧汇聚应用目标及通过引导电能消费行为产生更大汇聚潜力的可能性,将分布式储能的无序、自主运行整合成接受统一调度,变成电网的潜在优势资源。充分利用个体间的互补性,弱化群体的随机性,在大数据层面凸显出较高的资源可用性,形成分布式储能汇聚应用的系统性技术成果,将促进分布式能源发展,对实现主动配电网及智能电网具有重要的理论意义和工程实践价值。

参 考 文 献

- [1] 修晓青, 李建林, 惠东. 用于电网削峰填谷的储能系统容量配置及经济性评估[J]. 电力建设, 2013, 34(2): 1-5.
XIU Xiaoqing, LI Jianlin, HUI Dong. Capacity configuration and economic evaluation of energy storage system for grid peak load shifting[J]. Electric Power Construction, 2013, 34(2): 1-5.
- [2] 李建林, 杨水丽, 高凯. 大规模储能系统辅助常规机组调频技术分析[J]. 电力建设, 2015, 36(5): 105-110.
LI Jianlin, YANG Shuili, GAO Kai. Frequency modulation technology for conventional units assisted by large scale energy storage system[J]. Electric Power Construction, 2015, 36(5): 105-110.
- [3] 徐少华, 李建林. 光储微网系统并网/孤岛运行控制策略[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(34): 25-33, 6.
XU Shaohua, LI Jianlin. Grid-connected/island operation control strategy for photovoltaic/battery micro-grid[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(34): 25-33, 6.
- [4] 徐少华, 李建林, 惠东. 多储能逆变器并联系统在微网孤岛条件下的稳定性分析及其控制策略[J]. 高电压技术, 2015, 41(10): 3266-3273.
XU Shaohua, LI Jianlin, HUI Dong. Stability analysis and control strategy of parallel storage inverter system working under the micro-grid's island condition[J]. High Voltage Engineering, 2015, 41(10): 3266-3273.
- [5] 黄碧斌, 李琼慧. 储能支撑大规模分布式光伏接入的价值评估[J]. 电力自动化设备, 2016(6): 88-93.
HUANG Bibin, LI Qionghui. Value assessment for energy storage in supporting large-scale integration of distributed PVs[J]. Electric Power Automation Equipment, 2016(6): 88-93.
- [6] 柯勇, 陶以彬, 李阳, 等. 分布式光伏/储能一体化并网技术研究及开发[J]. 机电工程, 2015(4): 544-548, 560.
KE Yong, TAO Yibin, LI Yang, et al. Research and development of distributed PV/storage integration grid technology[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015(4): 544-548, 560.
- [7] 李建林, 惠东, 靳文涛, 等. 大规模储能技术[M]. 第 1 版, 北京: 机械工业出版社, 2016.
LI Jianlin, HUI Dong, JIN Wentao, et al. Large-scale energy storage technology[M]. Version 1, Beijing: China Machine Press, 2016.

- [8] KEMPTON W, LETENDRE S. Electric vehicles as a new power source for electric utilities[J]. Transportation Research: Part D, 1997, 2(3): 157-175.
- [9] HAN S, SEZAKI K. Development of an optimal vehicle-to-grid aggregator for frequency regulation[J]. IEEE Trans on Smart Grid, 2010, 1(10): 65-72.
- [10] BROOKS A, GAGE T. Integration of electric drive vehicles with the electric power grid-a new application for vehicle batteries[C]// Proceedings of the Seventeenth Annual Battery Conference on Applications and Advances. Long Beach, USA, 2002: 239-254.
- [11] 谢志佳, 马会萌, 靳文涛. 大规模电池储能系统 PCS 拓扑结构分析[J]. 电力建设, 2012(8): 22-26.
- XIE Zhijia, MA Huimeng, JIN Wentao. Analysis on PCS topological structure for large-scale battery energy storage system[J]. Electric Power Construction, 2012(8): 22-26.
- [12] 李建林, 徐少华, 靳文涛. 我国电网侧典型兆瓦级大型储能电站概况综述[J]. 电器与能效管理技术, 2017(13): 1-7.
- LI Jianlin, XU Shaohua, JIN Wentao. Review of the typical MW battery energy storage power station's application in power system[J]. Electrical & Energy Management Technology, 2017(13): 1-7.
- [13] 李国清. 分布式电源接入配电网的通信方式研究[J]. 现代电力, 2011, 28(2): 79-83.
- LI Guoqing. Research on communication modes for distributed generation access to distribution network[J]. Modern Electric Power, 2011, 28(2): 79-83.
- [14] 胡英龙, 李岩. 分布式电源接入配电网最佳方式的研究[J]. 安徽大学学报(自然科学版), 2015, 39(6): 53-59.
- HU Yinglong, LI Yan. Research on optimal way of distributed generation connected to distribution network[J]. Journal of Anhui University(Natural Science Edition), 2015, 39(6): 53-59.
- [15] 潘琪, 徐洋, 高卓. 含分布式光伏电站接入的配电网三级电压控制系统设计[J]. 电力系统保护与控制, 2014(20): 64-68.
- PAN Qi, XU Yang, GAO Zhuo. Design of three level voltage control system in distribution network with the connection of many distributed photovoltaic power plants[J]. Power System Protection and Control, 2014(20): 64-68.
- [16] 陈海生, 刘畅, 齐智平. 分布式储能的发展现状与趋势[J]. 中国科学院院刊, 2016(2): 224-231.
- CHEN Haisheng, LIU Chang, QI Zhiping. Developing trend and present status of distributed energy storage[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2016(2): 224-231.
- [17] 崔红芬, 汪春, 叶季蕾, 等. 多接入点分布式光伏发电系统与配电网交互影响研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015(10): 91-97.
- CUI Hongfen, WANG Chun, YE Jilei, et al. Research of interaction of distributed PV system with multiple access points and distribution network[J]. Power System Protection and Control, 2015(10): 91-97.
- [18] 孙洋洲, 梁嘉, 张敏吉, 朱子涵, 赵昱杰, 凌志斌. 分布式风储系统监控后台设计[J]. 储能科学与技术, 2016, 5(4): 590-595.
- SUN Yangzhou, LIANG Jia, ZHANG Minji, ZHU Zihan, ZHAO Yujie, LING Zhibin. Monitor system design of distributed wind turbine-energy storage system. Energy Storage Science and Technology, 2016, 5(4): 590-595.
- [19] 靳文涛, 马会萌, 李建林, 等. 电池储能系统平抑光伏功率波动控制方法研究[J]. 现代电力, 2013(6): 21-26.
- JINWentao, MA Huimeng, LI Jianlin, et al. Research on control method of photovoltaic power fluctuation stabilized by battery energy storage system[J]. Modern Electric Power, 2013(6): 21-26.
- [20] 李秋硕, 肖湘宁, 郭静, 等. 电动汽车有序充电方法研究[J]. 电网技术, 2012, 36(12): 32-38.
- LI Qiushuo, XIAO Xiangning, GUO Jing, et al. Research on scheme for ordered charging of electric vehicles[J]. Power System Technology, 2012, 36(12): 32-38.