



面向分布式光伏高渗透场景的网储协同发展模式研究

王雨至¹, 吴冲², 孙振作²

(¹重庆大学, 重庆 400044; ²国网江苏省电力有限公司徐州供电分公司, 江苏 徐州 221100)

摘要: 分布式光伏在配电网中大规模接入, 其固有的出力与负荷在时空上的不匹配特性, 对现有电网的安全、稳定、高效运行带来了极大的挑战。本文在详细分析分布式光伏发展情况及存在问题的基础上, 提出了分布式光伏高渗透场景下的电网发展策略。通过分析220千伏主变反送问题, 研究了促进网储协同发展的储能配置策略, 给出了各层级电网储能配置容量的计算方法。最后对储能建设的经济性提出了测算方法, 并通过实例进行了说明。

关键词: 分布式光伏; 储能; 电网; 承载力

doi: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2026.0743

中图分类号: TK 02

文献标志码: A

文章编号: 2095-4239 (2026) 09-3734-04

Research on grid-storage coordination development models for high-penetration scenarios of distributed photovoltaics

WANG Yuzhi¹, WU Chong², SUN Zhenzuo²

(¹Chongqing University, Chongqing 400044, China; ²State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd. Xuzhou Power Supply Branch, Xuzhou 221100, Jiangsu, China)

Abstract: The large-scale integration of distributed photovoltaics (PV) into power grid presents significant challenges to the safety, stability, and efficient operation of existing power grids due to their inherent spatio-temporal mismatch between power generation and load demand. Based on a detailed analysis of the development status and existing problems of distributed PV, this paper proposes grid development strategies for scenarios with high PV penetration. By analyzing the reverse power flow issue in main transformers, it investigates an energy storage configuration algorithm designed to promote grid-storage synergy development. Finally, an economic evaluation method for energy storage configuration is presented and illustrated with an example.

Keywords: distributed photovoltaics; energy storage; power grid; capacity

在中国“双碳”目标战略深入推进的时代背景下, 以光伏为代表的可再生能源正迎来爆发式增长。分布式光伏凭借其建设灵活的优势, 成为能源体系向清洁低碳转型的重要力量。然而随着分布式光伏在配电网中的大规模接入, 其固有的出力与负

荷在时空上的不匹配特性, 对现有电网的安全、稳定、高效运行带来了极大的挑战。电网面临着潮流反向、设备过载、电压越限等一系列难题, 严重制约了光伏消纳能力的进一步提升和电网的可持续发展。储能系统因其具备能量的时移、功率的快速调

收稿日期: 2026-08-28; 修改稿日期: 2026-09-07。

第一作者及通信联系人: 王雨至 (2002—), 女, 硕士研究生, 研究方向: 新型电力系统规划, E-mail: wangyuzhi202607@163.com。

引用本文: 王雨至, 吴冲, 孙振作. 面向分布式光伏高渗透场景的网储协同发展模式研究[J]. 储能科学与技术, 2026, 15(9): 3734-3737.

Citation: WANG Yuzhi, WU Chong, SUN Zhenzuo. Research on grid-storage coordination development models for high-penetration scenarios of distributed photovoltaics[J]. Energy Storage Science and Technology, 2026, 15(9): 3734-3737.

节等多重功能，被视为解决光伏波动性与电网刚性承载能力矛盾的关键手段^[1]。因此，探索电网与储能分布式光伏高渗透场景下的深度协同发展模式，对于保障电网安全稳定运行、提升新能源消纳能力、提高系统运行经济性具有重要的现实意义。

1 分布式光伏发展现状及存在问题

从2019年到2024年，全国分布式光伏新增并网容量持续增长，从0.63亿千瓦增长到了3.75亿千瓦，2024年新增并网容量为1.18亿千瓦，同比增长22.7%。以东部地区X地市为例，2024年分布式光伏增量达234万千瓦，总装机达582万千瓦，较2020年增长了12倍，其中自然人户用分布式光伏418万千瓦，占比71.8%，近几年增长情况具体见图1。X市分布式光伏新增装机容量主要集中在农村区域，农村居民屋顶多为二层楼房，前排为平房屋顶、后排为人字屋顶，可开发屋顶面积较多。

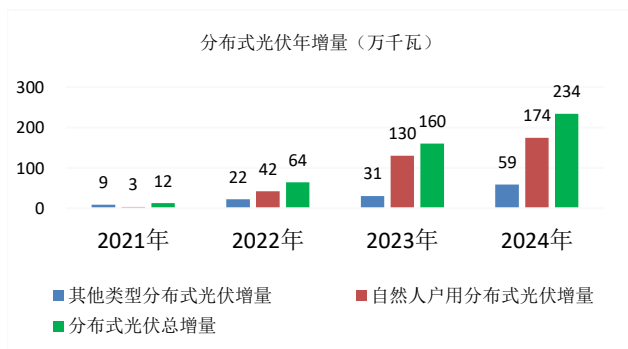


图1 东部地区X市分布式光伏装机增长情况

大规模分布式光伏接入X市电网，导致以下主要问题：

(1) 局部承载力不足，源网发展协同度需提升。220千伏主变反送问题突出，部分220千伏主变存在反送重载风险；部分110（35）千伏主变、配网设备反向重载，造成系统安全性不足。系统安全是指系统在规定的中断条件下将供应维持在规定的水平的能力^[2]。

(2) 供需时空不匹配，源荷发展协同度需提升。分布式光伏与用电负荷呈现逆向分布，农村用电负荷小，而98%的户用光伏位于农村地区，农

村地区负荷无法满足光伏就地消纳需求；完成“四可”能力建设的分布式光伏占比较低。

(3) 储能布局不合理，源储荷发展协同度需提升。储源比仅为0.06，储能装机容量有待提升；电网侧储能布局与电网需求不匹配，10千伏及以下电网侧分布式储能暂无建设，不能对海量分布式光伏消纳提供支撑。

2 分布式光伏高渗透场景下的电网发展策略

2.1 开展配电网建设改造升级

在分布式光伏高渗透率区域，针对220千伏及以下主（配）变及线路重过载问题，评估负荷增长及未来分布式光伏接入，适时开展电网建设改造，升级变压器、线路容量。对不同台区配变容量及负载率综合分析，制定台区配变调换方案。结合配电网网架结构升级改造工程，对中压光伏反向超重载线路或超重载风险等级较高线路进行“切割”，通过优化配电网网架结构，提高配网新能源承载能力和安全运行能力。

2.2 加快源网荷储资源集中调控

对分布式光伏进行“四可”改造，聚合分布式光伏、储能、可调负荷，参与电网调度；应用动态拓扑重构技术，优化网络运行方式^[3]。

构建微能源网，物理上聚合分布式新能源、电动汽车、可调负荷等各类电力资源以及制冷、制热需求等用能资源，实现光储充一体、冷热电联供。运用各类信息技术和数字化技术，实现区域内部可调可控、自治平衡，进而与主干网、配电网高效互动，支撑全网平衡，提升分布式新能源消纳能力。

2.3 引导分布式光伏有序开发

在制定电源规划时，同步开展配套电网规划、调节能力规划。规范分布式光伏备案、建设、并网全过程管理，优先支持分布式光伏在消纳条件好、电网承载力强的区域建设。

推广分布式光伏整村开发模式，由光伏投资商集中租用整村居民屋顶，以商业模式申请备案并安装光伏，新增光伏通过投资商统一建设的并网线路接入10千伏及以上电压等级电网。

3 面向分布式光伏高渗透场景的网储协同发展策略

3.1 储能配置计算

根据分布式电源接入电网承载力评估相关导则,若因分布式电源导致向220千伏及以上电网反送电,则该区域在电网承载力未得到有效改善前,暂停新增分布式电源项目接入^[4]。如图2所示,某220千伏变电站典型日存在较长时间的有功反送,反送值最大为约55兆瓦,因此该变电站属于分布式电源接入“红区”,供区内须暂停接入分布式电源。

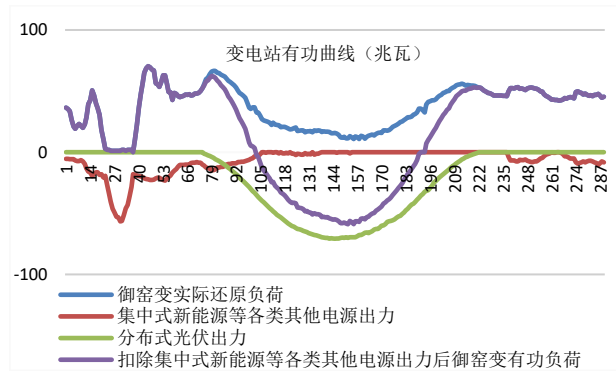


图2 某220千伏变电站典型日负荷曲线

依托储能系统的“削峰填谷”充放电特性,本研究以分布式光伏不向220千伏及以上电网反送电为约束条件计算储能配置容量,解决“红区”问题。按电压等级自高向低的方式,分别计算各电压层级储能配置容量。

首先,计算X市220千伏变电站储能配置总需求功率 P_z :

$$P_z = \frac{C_z}{T} \quad (1)$$

式中, C_z 为全部220千伏变电站典型日总反送电量; T 为储能设备连续供电或储电的时间长度。

则220千伏A变电站的储能配置功率 P_a :

$$P_a = \frac{C_a P_z}{C_N} \quad (2)$$

式中, C_a 为220千伏A站典型日反送电量。

其次,计算220千伏A站供区内110千伏B变电站的储能配置功率 P_b :

$$P_b = \frac{C_b P_a}{\sum_{i=1}^n C_{bi}} \quad (3)$$

式中, C_b 为110千伏B站典型日反送电量; C_{bi} 为第*i*座110千伏变电站典型日反送电量; n 代表A站供区110千伏变电站座数。

然后,计算110千伏B站中压C线的储能配置功率 P_c :

$$P_c = \frac{C_c P_b}{\sum_{i=1}^n C_{ci}} \quad (4)$$

式中, C_c 为中压C线典型日反送电量; C_{ci} 为B站第*i*条中压线路典型日反送电量; n 代表B站的10千伏出线条数。

再次,针对220千伏A站供区内某一网格*M*,假设网格内有10千伏线路*m*条,则网格内储能配置功率 P_m :

$$P_m = \sum_{i=1}^m P_{ci} \quad (5)$$

式中, P_{ci} 为网格内第*i*条中压线路典型日反送电量。

最后,计算接入10千伏C线的公用D配变低压侧配置储能功率 P_d :

$$P_d = \frac{C_d P_c}{\sum_{i=1}^n C_{di}} \quad (6)$$

式中, C_d 为10千伏C线路上公用配变D典型日反送电量; C_{di} 为C线路上第*i*台公用配变典型日反送电量; n 代表C线路挂接公用配变台数。

3.2 储能经济性测算

储能电站的营收主要包括用电高峰放电电费、辅助服务等方面,运营成本主要包括充电电费、设备维护与人工费、税费、利息等方面。

$$T_h = \frac{\delta \times E_0}{M_d + M_s - M_c - M_r - M_t - M_i} \quad (7)$$

式中, T_h 为投资回收周期, δ 为储能单位容量价格, E_0 为储能设备总容量; M_d 为储能年度放上网收入电费; M_s 为辅助服务收入; M_c 为充电电费; M_r 为设备维护与人工费; M_t 为税费; M_i 为利息支出。

以一座5万千瓦/10万千瓦时储能电站为例进行经济性测算。边界条件:当地执行工商业分时电价,假设允许电网侧储能电站参与工商业峰谷电价套利。储能电站建设成本为1.2元/瓦时,寿命周期为10年。迎峰度夏(冬)期间每天两冲两放,其他时间每天一充一放,充放电效率为90%,购电价格0.4431元/千瓦时,则投资回收期为5.2年,经济效益较好。

此外,储能技术引入可减少电力系统备用容量

需求,通过低谷储电、高峰释电,提供快速响应备用电源,降低发电设施投资与运营成本;同时,缓解电网负荷增长下的设备扩容升级压力,推迟设备更新周期,节省资本支出^[9]。

4 结 论

本工作在详细分析东部某地市分布式光伏发展情况的基础上,总结了分布式光伏大规模接入下电网的问题,包括局部承载力不足、供需时空不匹配,储能布局不合理,源储荷发展协同度不够等等。然后提出了分布式光伏高渗透场景下的电网发展策略,包括开展配电网建设改造升级、加快源网荷储资源集中调控、引导分布式光伏有序开发。通过分析主变反送问题,研究了促进网储协同发展的储能配置策略,给出了各层级电网储能配置容量的计算方法。最后对储能建设的经济性提出了测算方法,并通过实例进行了说明,在允许电网侧储能电站参与工商业峰谷电价套利的条件下,经济效益较好。

参 考 文 献

- [1] 李渊,郑舒,陈永华,等. 计及系统可靠性约束的配电网储能优化配置[J]. 储能科学与技术, 2025, 14(1): 193-201.
LI Y, ZHENG S, CHEN Y H, et al. Optimization configuration of distribution network energy storage considering system reliability constraints[J]. Energy Storage Science and Technology, 2025, 14(1): 193-201.
- [2] The operation directorate of energy networks association. engineering recommendation P2 Issue 7 2019[S].
- [3] 韩璟琳, 胡平, 侯若松, 等. 计及多光储一体机的配电网电压优化控制策略[J]. 中国电力, 2024, 57(6): 69-77, 152.
HAN J L, HU P, HOU R S, et al. Voltage optimal control strategy for distribution networks with multiple integrated photovoltaic and energy storage machines[J]. Electric Power, 2024, 57(6): 69-77, 152.
- [4] 国家能源局,中国电力企业联合会. 分布式电源接入电网承载力评估导则[S]. DL/T 2041—2019.
National Energy Administration, China Electricity Council. Technical guideline for evaluating power grid bearing capability of distributed resources connected to network[S]. DL/T 2041—2019.
- [5] 许增坤,俞钧,蒋超,等. 成本角度分析储能技术与电力系统的优化设计[J]. 储能科学与技术, 2025, 14(2): 876-878.
XU Y K, YU J, JIANG C, et al. Cost analysis of energy storage technology and power system optimization design[J]. Energy Storage Science and Technology, 2025, 14(2): 876-878.