

新能源风电和光伏工程中的储能技术应用

王建军 杜秉凯 牛海龙 许 强

华能新能源股份有限公司蒙东分公司 内蒙古 通辽 014407

摘要：新能源风电与光伏工程因间歇性、波动性导致大规模并网困难，储能技术成为关键解决方案。本文系统分析了电池储能、压缩空气储能、飞轮储能及纳米储能等技术的特性与应用场景。研究显示，储能技术通过平滑功率波动、提升电能质量、参与调峰调频等功能，显著增强新能源的消纳能力与电网稳定性。未来需通过技术创新、政策激励与市场机制完善，推动储能与新能源工程深度融合，助力构建清洁低碳能源体系。

关键词：新能源风电；光伏工程；储能技术

1 新能源风电与光伏工程概述

新能源风电与光伏工程作为可再生能源领域的重要组成部分，正日益成为全球能源转型与可持续发展的核心驱动力。（1）新能源风电工程：风电工程通过风力发电机组将自然界的风能转化为电能，是技术成熟、应用广泛的可再生能源技术之一。其核心设备包括风力发电机、叶片、塔筒及智能控制系统，利用风轮捕捉风能驱动发电机发电。风电场通常选址于风能资源丰富的地区（如沿海、高原、开阔平原），通过规模化布局实现高效发电。现代风电技术正向大容量、智能化方向发展，单机容量不断提升，同时结合先进的预测算法与储能技术，显著提升发电稳定性与电网兼容性。风电工程兼具低碳环保、资源可再生等优势，对减少化石能源依赖、缓解气候变化具有关键作用^[1]。（2）新能源光伏工程：光伏工程基于半导体材料的光生伏特效应，将太阳辐射直接转化为电能。核心组件为太阳能电池板（光伏组件），通过串联、并联形成光伏阵列，配合逆变器实现直流电向交流电的转换。分布式光伏与集中式光伏电站是两大主要应用场景：前者适用于屋顶、建筑立面等场景，推动能源本地化；后者多建于光照充足的沙漠、戈壁等区域，形成规模化发电基地。光伏技术持续突破，高效电池（如PERC、HJT、钙钛矿）与柔性组件的应用显著提升发电效率与场景适应性。

2 光伏发电技术的原理

光伏发电技术基于半导体材料的光生伏特效应，其核心原理可概括为：当太阳光照射到光伏电池（如硅基太阳能电池）表面时，电池内部的PN结吸收光子能量，激发电子从价带跃迁至导带，形成电子-空穴对。在内置电场（由PN结的掺杂特性产生）的作用下，电子被驱向N型半导体一侧，空穴则聚集于P型半导体一侧，从而在电池两端产生电势差，形成直流电压。通过串联多个光

伏电池构成光伏组件，并搭配逆变器将直流电转换为交流电，即可实现太阳能向电能的规模化转化。这一过程无需机械转动部件，具有零排放、低维护、模块化扩展等优势，是当前最具潜力的清洁能源技术之一。

3 储能技术及其在新能源领域的应用现状

3.1 储能技术的分类

3.1.1 物理储能

储能技术通过物理、化学或电磁方式实现能量存储，是解决新能源间歇性、波动性问题的关键支撑技术。抽水蓄能：利用电力负荷低谷期将水从下水库抽至上水库储存势能，高峰期放水发电，综合效率达70%-85%，是当前最成熟的规模化储能技术。典型案例包括福建仙游抽水蓄能电站，采用周调节模式提升调峰能力。压缩空气储能：通过压缩空气储存能量，需时释放高压空气驱动透平发电。传统技术效率不足50%，而带储热装置的系统可将效率提升至70%以上。青海格尔木135MW/540MWh共享储能电站采用AI液冷技术，适应高海拔环境。飞轮储能：利用高速旋转飞轮储存动能，响应速度达毫秒级，效率高达90%，寿命可达15-30年。北京306医院安装的250kVA磁悬浮轴承飞轮储能系统，可维持15秒断电供电^[2]。

3.1.2 化学储能

电池储能：涵盖锂离子电池、铅酸电池、液流电池等。锂离子电池因能量密度高、循环寿命长成为主流，但存在安全隐患；全钒液流电池适用于长时储能场景，青海共享储能电站采用该技术实现“浅充浅放”策略。氢能储能：通过电解水制氢储存能量，需时通过燃料电池发电。其能量转换效率较低（30%-50%），但可实现跨季节储能，新疆胡杨河15MW/30MWh储能电站采用柔性电池舱应对极端气候。

3.1.3 其他新型储能技术

纳米储能：利用纳米材料提升电池性能，如钠离子电池通过资源优势降低成本，循环寿命约2000-3000次。超导储能：基于超导线圈储存磁场能量，功率密度高、响应快，但需低温环境维持超导状态，技术成熟度较低。

3.2 储能技术在新能源领域的应用案例

第一、电源侧；风光储一体化：浙江“火储协调控制+电池能量管理”系统采用20MW/20MWh磷酸铁锂电池，改善电网对可再生能源的接纳能力。火电+储能联合调频：国内多地试点火电厂配置储能系统，提升机组调节性能，减少弃风弃光。第二、电网侧；共享储能：青海共享储能电站通过市场化交易平台，实现“多充多放”策略，累计成交2648笔，增发电量7286万kWh。调峰调频：电网侧储能直接接入输配电网，提供调峰、调频、备用等服务，缓解输配电阻塞。第三、用户侧；工商业储能：科林产业园综合能源微电网集成光伏、地热、储能系统，降低用能成本，实现冷热电联供。家庭储能：海外“光伏+储能”模式普及，如欧洲家庭通过安装光伏板与便携式储能设备，减少外购电费用。第四、特殊场景；极寒环境：新疆胡杨河储能电站采用柔性电池舱，集成加热系统与保温材料，适应-30℃至50℃温差。高海拔地区：青海格尔木电站通过AI液冷技术控制温差，保障设备在近3000米海拔稳定运行。高风沙区域：内蒙古阿拉善储能项目采用高等级密闭防护与精细化热管理，解决风沙入侵问题。

4 储能技术在新能源风电工程中的应用

4.1 电池储能系统的应用

电池储能系统（Battery Energy Storage System, BESS）作为风电工程中应用最广泛的储能技术，其核心价值在于通过“削峰填谷”解决风电的间歇性与波动性问题，提升电网对风电的消纳能力。该技术基于电化学过程实现能量存储与释放，典型类型包括锂离子电池、铅酸电池和液流电池。锂离子电池凭借能量密度高（150-300Wh/kg）、循环寿命长（5000次以上）等优势成为主流选择，但其成本较高且存在热失控风险；铅酸电池成本低、技术成熟，但能量密度较低（30-50Wh/kg），适用于短时储能场景；液流电池（如全钒液流电池）则以长时储能（4-8小时）和安全性见长，适合大规模风电场调峰。在风电工程中，电池储能的应用场景主要包括平滑风电功率波动、参与电网调峰调频以及作为离网供电或备用电源。然而电池储能仍面临成本、寿命和安全性的综合挑战，未来需通过钠离子电池、固态电池等新技术突破，以及电池梯次利用（如退役电动汽车电池）的规模化应用，进一步降低全生命周期成本。

4.2 压缩空气储能系统的应用

压缩空气储能（Compressed Air Energy Storage, CAES）是一种基于气体压缩与膨胀的物理储能技术，适用于大规模、长时储能场景。其原理是在用电低谷期利用风电电能驱动压缩机，将空气压缩并储存于地下洞穴或压力容器中，高峰期释放高压空气通过透平膨胀机发电。传统CAES系统效率较低（约40%-50%），主要受限于压缩过程中的热损失，而现代系统通过引入储热装置（如熔融盐）实现热电联产，效率可提升至70%以上。CAES技术具有寿命长（30年以上）、环境友好、对地理条件要求低于抽水蓄能等优势^[3]。在风电工程中，CAES的应用场景包括长时调峰与备用电源、联合循环发电以及分布式储能。CAES技术仍受限于储能密度低（约3-10kWh/m³）和地理条件依赖，未来发展方向包括人工洞穴技术、超临界压缩空气储能以及混合储能系统（如与电池储能结合），以实现短时高频响应与长时低频调峰的协同。

4.3 飞轮储能与纳米储能技术的应用探讨

飞轮储能与纳米储能作为新兴技术，在风电工程中展现出独特潜力，但目前仍处于示范阶段。飞轮储能通过高速旋转的飞轮储存动能，具有响应速度快（毫秒级）、寿命长（15-30年）和效率高（90%以上）的优点，典型应用包括一次调频与惯量支撑、电能质量治理以及联合调频系统。飞轮储能的能量密度较低（约10Wh/kg），且成本较高（约5000-10000元/kW），限制了其大规模应用，未来需通过材料创新（如碳纤维复合材料）和制造工艺优化降低成本。纳米储能技术聚焦于纳米材料在电池、超级电容器等领域的应用，旨在突破传统储能技术的性能瓶颈。纳米材料电池（如纳米硅负极锂离子电池）可提升能量密度至400Wh/kg以上，固态电解质的应用则可提高安全性；纳米超级电容器具有高功率密度（10kW/kg）和长循环寿命（10万次以上），适用于风电功率快速调节；在氢能储能中，纳米催化剂可降低电解水制氢的能耗，提升经济性。

5 储能技术在新能源光伏工程中的应用

5.1 光伏并网发电系统中的储能需求分析

光伏发电具有间歇性、波动性特征，其输出功率受光照强度、温度、云层遮挡等因素影响，难以与电网负荷需求实时匹配。储能技术的引入可有效解决这一问题，其核心需求体现在以下几个方面；（1）光伏发电功率在昼夜交替、天气变化时易产生剧烈波动。例如，云层遮挡可能导致功率在数秒内下降50%以上，对电网稳定性构成威胁。储能系统需具备快速响应能力，通过充

放电调节输出功率，减少对电网的冲击。（2）光伏并网需满足电压、频率等电能质量标准。储能装置可吸收或释放功率，抑制电压波动和频率偏差，保障用户端供电可靠性。（3）光伏发电高峰期（如正午）与用电负荷高峰期（如傍晚）存在时间错位。储能系统可在发电高峰期储存多余电能，在负荷高峰期释放，实现电力供需平衡，储能还可参与电网调频，提升系统惯性响应能力。

（4）在偏远地区或电网薄弱环节，光伏发电需搭配储能实现离网供电。储能装置需具备长时供电能力，确保关键负荷（如通信基站、医院）的持续运行。（5）部分地区出台政策要求光伏电站配置储能（如强制配储比例），同时电力市场逐步开放储能参与辅助服务（如调频、备用容量），进一步激发储能需求。

5.2 储能装置的选择与配置策略

储能装置的选择需综合考虑技术性能、经济性和应用场景，常见类型包括电池储能、超级电容器、飞轮储能和氢储能。锂离子电池因能量密度高（150-300Wh/kg）、循环寿命长（5000次以上）成为主流选择，适用于短时高频调节场景。铅酸电池成本低，但寿命短，适合小型离网系统。液流电池（如全钒液流电池）寿命长、安全性高，适用于长时储能（4-8小时）。配置策略上，需根据光伏电站规模（如MW级）、并网要求（如调频响应时间）和经济性（如度电成本）确定电池容量、充放电倍率和系统效率。超级电容器功率密度高（10kW/kg）、循环寿命长（10万次以上），适用于瞬时功率调节（如抑制电压波动）。配置时需关注其能量密度低（约5Wh/kg）的局限性，通常与电池储能联合使用。飞轮储能响应速度快（毫秒级）、寿命长，适用于一次调频和惯量支撑^[4]。配置时需考虑其能量密度低（约10Wh/kg）和成本高（约5000-10000元/kW）的挑战，适合对响应速度要求极高的场景。氢储能通过电解水制氢储存能量，

适用于长时（数天至数月）储能。其优势在于能量密度高、无污染，但面临制氢成本高、储氢技术不成熟等难题。配置时需结合可再生能源富集地区（如西北光伏基地）的资源禀赋，探索“光伏-电解水-氢能利用”一体化模式。

配置策略总结；场景匹配：根据光伏电站类型（集中式/分布式）、并网要求（调频/调峰）选择储能类型。经济性优化：通过全生命周期成本分析（LCOE）确定最优容量配置，平衡初始投资与运维成本。技术协同：采用混合储能系统（如电池+超级电容器），发挥不同技术的互补优势。储能技术的合理选择与配置是光伏工程实现高效、稳定运行的关键。

结束语

储能技术是新能源风电与光伏工程转型为“主力能源”的核心支撑。当前储能技术已在平滑功率、提升电网稳定性等方面取得成效，但仍面临成本、寿命、效率等挑战。未来需以材料创新、系统集成与智能化管理为突破口，推动规模化应用。政策需完善市场机制，引导储能参与电力交易与辅助服务，形成技术、市场、政策协同发展的良性循环，释放新能源潜力，推动能源绿色转型。

参考文献

- [1]金阳.探讨新能源电力系统中的储能技术研究[J].低碳世界, 2023(11): 49-51.
- [2]徐一斌, 何琪.分析储能技术在光伏电站并网中的应用研究[J].电气技术与经济, 2023(9): 65-67.
- [3]关新, 吴世玮, 解雨琪, 等.研究储能技术在新能源电力系统中的应用分析[J].蓄电池, 2023(4): 181-182.
- [4]吴静.基于高比例新能源系统惯量的频率稳定性控制研究[J].电气应用, 2024, 43(08): 72-80.