

“双碳”背景下电化学储能技术的应用分析及展望

文/郭静

中国三峡新能源（集团）股份有限公司山东分公司

随着中国的可再生能源发电能力持续上升，以及新能源发电所需的大规模储能系统政策的出台，电化学储能技术展现出一种爆炸性的增长模式。文章从电化学储能技术特点出发，介绍了电化学储能的发展状况及趋势，以及在新能源发电中的应用，并对新能源储存技术的未来发展进行了探讨。

能源危机和环境污染是当今社会经济发展面临的两大问题，为了应对这些问题，我国提出了“双碳”战略^[1]。为了平衡经济的快速发展和“双碳”战略，传统的以煤炭为主的发电方式终将被清洁的可再生能源发电所取代^[2]。由于风能、太阳能和潮汐能的清洁性和可再生性，这些可再生发电方式正以极快的增长速度在世界范围内发展。然而，由于这些可再生能源具有不稳定性和间歇性，难以保证用电和发电之间的实时平衡，可能导致弃风、弃光等问题^[3]。通过储能技术，可有效缓解可再生能源发电的时空不连续性，对电力进行削峰填谷。

储能是智能电网、可再生能源高占比能源系统、能源互联网等领域的重要组成部分与关键支撑技术。其中电化学储能因受地理因素的影响较小且应用场景较为灵活，再加上成本的不断降低和商业化的逐渐成熟，正逐渐在储能领域得到广泛的应用。基于此，文章概述了电化学储能电池的技术特点，电化学储能在我国的发展状况，并对其今后的发展趋势加以分析；本文从国内电化学储能市场面临的主要问题出发，从完善政策体系，优化应用模式和创新技术创新等角度提出相关建议，旨在为推动我国电化学储能产业的健康、快速发展提供参考。

电化学储能

1. 电化学储能电池技术特点

电化学储能是各行业广泛应用的最流行的解决方案之一，与之相关的技术发展非常活跃。最常说的电化学储能包括蓄电池、电容器、超级电容器和燃料电池。

电池是一种以化学方式储存能量的电化学装置，通过被称为电化学电池的介质中的还原和氧化反应，将这种化学能转化为电能。化学反应发生在电池的电极：阳极和阴极。从这些化学反应中，出现了电极间的电势差，这个电势驱动着电化学反应的产物，即离子和自由电子在阳极和阴极之间的移动。特别地，电子在电极之间通过外部路径交换到电池，即电池连接的负载或电源，产生电流。反过来，离子通过电池本身在内部进行交换，并得益于一种称为电解质的介质^[4]。

基于电池的串联和并联连接，所使用的电池的数量取决于电压和电流的要求，电池的电压在放电时逐渐降低，直到达到最小实际电压。电池的容量，通常以A·h表示，取决于进行放电的条件，并受到最小实际电压的限制。因此，充电状态（SoC）被定义为存储在电池中的能量相对于完全充电条件下的能量的百分比。电池电压越高，参与

化学反应的物质越轻，比储能容量越高，以 $W \cdot h/kg$ 表示，同样，比功率定义为 W/kg ，该指标是指电池相对于其质量所能提供的最大电流。考虑到这些特性，如工作温度、安全性、可循环性和模块化等，该行业提供了逐步提高的新的电化学性能，从而促进了电池在越来越多的应用在各种环境中。

2. 电化学储能的发展现状及趋势

电化学储能技术在电力系统中有着广泛的应用，它可以在发电、输电、配电及送电这四个关键环节中发挥作用。从发电的角度看，这可以增强发电的稳定性并优化发电的品质；在电力传输的过程中，有可能减少电力传输的总成本；在电力分配的过程中，这有助于减轻企业与用户的电力需求压力，并推动电网进行升级和扩展；在电力传输的过程中，可以利用峰谷差异来套利，从而降低公司和用户的电力使用成本。

目前最广泛使用的电化学电池是铅酸、锂离子、钠硫、镍镉和液流电池^[5]。在电池技术中，锂离子电池的市场份额最高，其容量为1.66GW，其次是钠基电池204.32MW和液流电池71.94MW^[6]。

电化学电池可用于各种场合，其特性决定了电能的成本。不同应用场合的常规高压直流输电（LCC）和平准化度电成本（LCOE）主要受电化学储能系统的技术参数影响，如放电时间和循环寿命，以及放电深度。以往的研究评估了不同固定应用的LCC和LCOE。例如，Battke等人^[7]估计了Pb-A、Li-ion、Na-S和VRFB电池的LCOE，并根据应用发现了广泛的LCOE，能源应用（时间推移，能源管理，增加自我消费）比电力应用（频率调节和电压调节）更便宜。在能源应用中，由于电池的使用较高，放电时间较长，因此电能的吞吐量较高。电池在各种应用中的相对排名取决于循环寿命和循环次数，这最终决定了投资和更换成本。对于小规模应用，Pb-A具有成本竞争力，锂离子在高能量/功率比和大循环次数的应用中表现良好。

与其他电池相比，锂离子电池在所有应用中具有更好的经济性，寿命短和效率低是Pb-A的主要挑战。在能源应用方面，VRFB的性能可与Li-ion相媲美。然而，由于大电堆和膜面积的资本成本增加，VRFB不适合电力应用。锂离子电池由于其长循环

寿命和高效率，以及强大的资本成本降低潜力，预计到2030年将在能源市场中占据主导地位^[8]。对于较长的放电持续时间和循环次数，VRFB将具有竞争力。此外，往返效率和循环寿命将是未来LCOE计算中最具影响力的参数。例如，2015—2030年，VRFB的效率提高了16%，这可以使其比锂离子电池储能系统（ESS）更便宜。Nikolaidis和Poulikkas估计了几种电化学储能系统的LCOE^[9]，对于每年小于4h和小于300次循环的放电持续时间，到2030年，锂离子将具有更大的吸引力。

电化学技术在新能源发电中的应用分析

可再生能源的发电特性包括其随机性、间歇性及不稳定性，电化学储能技术可以将电能转换为化学能，从而实现了对可再生能源电力的存储和释放，是一种有效的可再生能源电源并网运行控制技术。为了增强可再生能源发电的调度效率和并网能力，在配置电化学储能系统时，通常会优先考虑光伏发电的容量和风电的功率应用。通过对各种应用方式进行分析比较，提出了一种适用于大规模分布式电源并网系统的电化学储能配置方法。

（1）电化学技术在太阳能领域的应用

太阳能作为一种广受欢迎的清洁能源，在推动可持续发展和降低碳排放上起到了至关重要的作用，电化学技术为太阳能的转换和储存提供了坚实的后盾。更具体地说，太阳能电池是通过利用光生电压将太阳能转换成电能的。电化学储能技术，例如电池和电解水制氢等，能够将太阳能转换为化学能，从而实现能源的高效储存和利用。



(2) 电化学技术在燃料电池中的应用

燃料电池是一台能够将化学能量直接转换为电力的装置，它以其高效率、环境友好和静音特性而著称，因此在交通、工业和家庭等多个领域得到了广泛的应用。而电化学技术在燃料电池中的应用主要体现在电极催化剂的研发和电解质材料的改进等方面，通过优化电极催化剂的活性和稳定性，可以提高燃料电池的性能和寿命。同时，电解质材料的研究和改进，也是提高燃料电池效率和降低成本的重要途径。

(3) 电化学技术在储能领域的应用

储能技术是解决新能源波动性和间歇性的关键，而电化学技术在储能领域的应用具有广阔的前景。例如，锂离子电池和超级电容器等技术，可以将电能储存并在需要时释放。此外，电化学储能技术还可以与可再生能源（如风能、潮汐能等）相结合，实现能源的平滑调度和高效利用。

(4) 电化学技术在水资源利用中的应用

水资源是人类生活的基本需求，而电化学技术在水资源的利用方面也发挥着重要作用。例如，通过电解水制氢技术，可以将水分解为氢和氧气，以作为清洁的能源和原料。此外，电化学技术还可以用于水污染治理，如电化学氧化法和电化学沉淀法等，可以高效地去除水中的有害物质，净化水资源。

总之，电化学技术在新能源中的应用是多样且广泛的，从太阳能转化为电能、燃料电池的改进、储能领域的发展以及水资源的利用等方面都起到了重要作用。然而，电化学技术的应用也面临一些挑战，例如电极材料的稀缺性和高成本、电解液的稳定性等问题仍需要进一步解决。因此，为了推动电化学技术在新能源领域的进一步应用，还需要加强各领域的合作与研究，在材料、接口和系统集成等方面进行深入探索，以实现电化学技术在新能源中的最大效益与发展。

在实际工程应用中，电化学储能通常涉及多种功能的综合运用，主要表现在以下几个方面。

(1) 保证连续稳定的输出

通过平抑出力，当风电和光伏的功率因环境资源的变动或设备性能的不稳定而出现功率的波动时，储能系统可以迅速地调整充放电的功率，确保

功率的稳定和平稳。在决定储能种类、功率、容量和相应的控制策略时，必须充分考虑到区域功率波动的具体特点。

(2) 参与供电调频/调压辅助服务

电池储能系统有助于增强发电侧对新能源输出的调控能力，能够灵活地调节有功和无功功率的输入输出。因此，这有助于提高发电侧的频率并增强调节电压的功能，提高电能并入电网的品质显得尤为关键。

(3) 保证电能质量

通过对储能系统进行调整，能够避免电网的波动给系统带来的负荷不稳、电压降低等外界干扰，从而确保电力输出的高质量和稳定性。在电力系统中，储能技术具有重要地位和作用，储能系统不仅确保了系统的稳定和可靠运行，同时也是解决电压脉冲、浪涌电流、电压降和瞬时供电中断等动态电能质量问题的有效手段。

(4) 削峰填谷

系统的负荷峰谷特性被储存在负荷较低的时间段内，额外的电力可以与电网的调度策略结合起来，从电网（作为电网的备用容量）中获取所需的功率和能量。通过在负荷高峰时段释放蓄电池存储的能量，可以显著降低电网负荷的峰谷差异，从而减轻电网的供电压力。在一定层面上，这也有助于保证新能源发电在高负荷时段的输出更加稳定。通过最大限度地发挥风能和太阳能发电各自的优点，达到两者优势的完美结合，利用风储联合系统的调度策略，可以把系统在谷时段的负调峰能力作为主要的目标。在确保满足最低储能需求的基础上，要保障系统运行的稳定性，并追求新能源的最大吸纳能力。

此外，还能够回收并再利用弃风和弃光的资源。在进行电力分配时，有可能在某种程度上回收所有者失去的电量和所获得的收益。然而，考虑到储能成本的问题以及弃风和弃光的持续波动，建议在新能源发电领域，不应将储能回收和弃电利用作为主导的发展战略。

展望

本文介绍了电化学储能领域的最新发展状况，

由于锂离子电池成本将大幅下降，预计其会所有固定应用的电力市场中占主导地位。对于不同的应用，更有效的能量存储将在不久的将来得到发展。为保证新能源发电侧储能系统的快速健康发展，应从4大方面开展深入研究。

1) 当前的电池核心技术是基于动力电池的，因此有必要研发适合新能源发电侧的大容量、大功率应用的储能技术。同时，储能系统与其他电网形式之间的配合也是制约其大规模推广应用的瓶颈。在致力于减少储能系统和设备的制造和使用成本的同时，还需要对新创建的应用场景的适应性进行深入的优化和研究。因此，研究和开发具有高转换效率、长使用寿命、出色的安全性能、高容量和低成本的新型电化学储能电池产品，逐步成为未来发展的主要方向。

2) 新能源发电侧的储能功能将更加倾向于提供多种综合服务，这就要求电池必须具备功率型和容量型的综合性能。目前的研究主要集中于提高电池自身效率上，但在实际应用中还存在很多问题有待解决。可以通过对电池的研究和开发来达到这个目的，也可以结合两种储能技术的特性进行互补研究，从而达到多功能的目的。在储能系统中采用不同类型的储能器件能够有效地改善系统整体的特性，从而满足各种应用场合对能量管理及控制方面的要求。例如，超级电容器与容量电池的组合适能技术能够综合实现功率与容量的双重功能。

3) 在电池匹配的前提下，实现了风电与储能之间F/V转换调节的高度集成，从而实现了各自的优势互补。致力于研究目标明确的细致控制方法，以确保储能的精确管理和实际应用。

4) 对储能系统的综合评估技术和方法进行研究。文章从多个方面，如安全性、电气特性、适应不同场景的能力和经济效益等，进行了深入的评估，结合检测技术与评价指标的进一步研究，从而达到储能系统整体综合评估的目的。EA

参考文献

[1] 江颖达. “双碳”政策背景下电力工业工

程营销战略及实施研究[J]. 电工技术, 2023(S1): 85-87,90.

[2] 任晨星, 任清洁, 高翔. “双碳”背景下我国低碳电力发展研究[J]. 热力发电, 2024, 53(2): 1-7.

[3] 胡健, 任育杰, 杜金魁, 等. 含相变储能的风/光/热电联产综合能源系统优化调度[J]. 储能科学与技术, 2023, 12(3): 968-975.

[4] Díaz-González F, Sumper A, Gomis-Bellmunt O, et al. A review of energy storage technologies for wind power applications[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012, 16(4): 2154-2171.

[5] Ferreira L H, Garde R, Fulli G, et al. Characterisation of electrical energy storage technologies[J]. Energy, 2013(52): 88-298.

[6] Rahman M M, Oni O A, Gemechu E, et al. Assessment of energy storage technologies: A review[J]. Energy Conversion and Management, 2020, 223.

[7] Battke B, Schmidt T S, Grosspietsch D, et al. A review and probabilistic model of lifecycle costs of stationary batteries in multiple applications[J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2013(25): 240-250.

[8] Schmidt O, Melchior S, Hawkes A, et al. Projecting the future levelized cost of electricity storage technologies. Joule 2019, 3: 81-100.

[9] Nikolaidis P, Poullikkas A. Cost metrics of electrical energy storage technologies in potential power system operations. Sustainable Energy Technol Assess 2018(25): 43-59.