

新能源电力系统中的储能技术研究

赵晨宇¹ 陈静² 张嬛阁²

1. 中国华电科工集团有限公司 北京 100031

2. 中国华电集团有限公司经济技术咨询分公司 北京 100031

摘要: 新能源电力系统发展对储能技术提出更高要求。储能技术可在新能源电力系统中发挥重要作用,包括实现电力调峰与负荷平衡、提高电能质量、促进新能源消纳以及提升电力系统稳定性。新能源电力系统中的常见储能技术涵盖电化学储能技术、机械储能技术、电磁储能技术和储热储能技术,不同储能技术具有各自特点与应用场景,共同助力新能源电力系统发展。

关键词: 新能源电力系统; 储能技术; 作用

引言

在全球能源结构加速转型的背景下,新能源电力系统已成为推动可持续发展的核心力量。然而,风能、太阳能等可再生能源的间歇性与波动性特征,给电网的稳定运行带来了严峻挑战。储能技术作为解决这一矛盾的关键手段,通过能量存储与释放的灵活调节,有效提升了新能源电力系统的稳定性与经济性。本文将系统探讨储能技术在新能源电力系统中的作用机制,分析其技术分类与应用场景,为能源转型提供技术支撑。

1 储能技术概述

储能技术是能源领域中至关重要的技术分支,旨在实现能量的高效存储与按需释放,以应对能源供需时空不匹配的挑战。随着可再生能源发电比例的显著提升,储能技术成为保障电力系统稳定运行的关键支撑,其核心价值在于平衡能源生产与消费的动态波动,提升能源利用效率。储能技术体系呈现多元化发展特征,涵盖物理储能、电化学储能、电磁储能及热储能等主流技术路径。物理储能以抽水蓄能、压缩空气储能为代表,通过机械能转换实现大规模能量存储,适用于电网调峰与备用电源场景。电化学储能依托锂离子电池、液流电池等化学体系,凭借高能量密度与快速响应特性,在分布式能源系统与微电网中占据主导地位。电磁储能以超级电容器、超导磁储能为典型,通过电场或磁场储能实现毫秒级功率补偿,适用于电网频率调节与电能质量优化。热储能技术通过显热、潜热或化学储热实现热能存储,在工业余热回收与区域供热领域具有显著应用潜力。储能技术的性能评估需综合考量能量密度、功率密度、循环寿命、充放电效率及环境适应性等核心指标。锂离子电池凭借高能量密度与长循环寿命成为当前商业化应用的主流选择,但面临资源瓶颈与安全性能挑战。液流电

池通过电解液循环实现能量与功率解耦,具备规模化扩展优势,但系统效率与成本尚需优化。超级电容器以超长循环寿命与卓越的功率特性著称,但能量密度限制其独立应用场景。压缩空气储能依托成熟的气体压缩技术,在长时储能领域展现出成本竞争力,但受地理条件约束明显。储能技术的创新发展正推动能源系统向智能化、柔性化方向演进,其与可再生能源、智能电网的深度融合,将为构建清洁低碳、安全高效的现代能源体系提供关键技术支撑。

2 储能技术在新能源电力系统中的作用

2.1 电力调峰与负荷平衡

(1) 新能源发电有间歇性和波动性,风力发电靠风速,太阳能发电受光照影响,发电功率难以与用电负荷实时匹配。储能系统可在发电功率过剩、用电负荷低时存储电能,在发电不足、用电高峰时释放电能。通过充放电调节,有效缓解新能源发电与负荷矛盾,平衡电力供需。(2) 储能技术可对电力系统的负荷曲线进行削峰填谷。当系统负荷处于高峰时,储能装置放电,为系统提供额外电力,减轻发电设备的供电压力,避免因发电设备过载导致的故障,保障系统安全运行;当负荷处于低谷时,储能装置充电,吸纳多余电能,防止电能浪费,使发电设备能在更高效的功率区间运行,提高发电效率,优化电力系统整体运行经济性。(3) 在分布式新能源发电广泛接入的场景下,储能系统的调峰与负荷平衡作用更为关键。分布式发电规模小且分散,对电网的冲击更为复杂。储能设备可安装在分布式发电系统附近,快速响应功率变化,稳定局部电力供需,减少分布式电源对主电网的影响,保障配电网的稳定运行,提升整个电力系统对分布式新能源的接纳能力^[1]。

2.2 提高电能质量

(1) 新能源发电波动易引发电压闪变等电能质量问题。储能系统能快速调节充放电功率,当电网电压跌落时迅速放电注入无功功率提升电压;电压过高时则吸收无功功率降低电压,维持电压在合理区间。此举可保障电力设备正常运行,减少因电压问题导致的设备损坏和生产中断。(2) 在频率调节方面,储能系统能快速响应电力系统频率变化。新能源发电波动致系统频率偏离时,储能系统在频率下降时放电增加有功功率输出,上升时充电吸收多余功率,精准调节,抑制频率波动。这种快速精确的调节能力,提高了电力系统频率稳定性,确保用电设备高效运行,提升用电体验和产品质量。

(3) 储能系统还能有效抑制谐波。新能源发电设备如光伏逆变器、风力发电机等,在运行过程中可能产生谐波电流,污染电网。储能系统通过控制技术,对谐波电流进行检测和补偿,滤除电网中的谐波成分,改善电能波形,提高电能的纯净度,降低谐波对电力设备和通信系统的干扰,保障电力系统和各类用电设备的可靠运行,延长设备使用寿命。

2.3 促进新能源消纳

(1) 储能技术为新能源发电提供了灵活的调节手段,有助于解决新能源发电的“弃风”“弃光”问题。当新能源发电功率超过电网消纳能力时,储能系统及时储存多余电能,避免电能浪费;在电网需要时,再将储存的电能释放,实现新能源发电在时间和空间上的转移利用,提高新能源在电力系统中的消纳比例,充分发挥新能源的能源价值。(2) 储能系统与新能源发电协同运行,可优化新能源发电的输出特性。通过储能系统的平滑作用,将新能源发电的波动功率转化为相对稳定的输出,使新能源发电更接近传统电源的输出特性,提高电网对新能源发电的接纳程度。这种稳定的输出特性还能增强新能源发电在电力市场中的竞争力,促进新能源产业的健康发展。(3) 储能系统可作为新能源发电的备用电源。在新能源发电因天气等原因突然中断时,储能系统能够迅速投入运行,维持电力供应的连续性,保障电力用户的正常用电,减少因新能源发电中断对生产生活造成的影响,增强用户对新能源电力系统的信任,为新能源大规模接入和广泛应用奠定基础^[2]。

2.4 提升电力系统稳定性

(1) 在电力系统遭受扰动时,如短路故障、负荷突变等,储能系统能够快速响应,提供或吸收功率,抑制系统功率振荡。通过快速充放电调节,储能系统可有效减小系统频率和电压的波动幅度,缩短暂态过程的持续时间,帮助电力系统迅速恢复到稳定运行状态,增强系

统的抗干扰能力和稳定性。(2) 储能系统可改善电力系统的动态特性。新能源发电的接入改变了电力系统的惯量分布,可能降低系统的动态稳定性。储能系统具有快速功率调节能力,可模拟传统同步发电机的惯性响应,为系统提供额外惯量支持,增强系统在动态过程中的稳定性,提高系统对突发功率变化的适应能力,保障电力系统在复杂工况下的安全稳定运行。(3) 在大规模新能源接入的电力系统中,储能系统有助于缓解系统潮流分布不均的问题。通过合理配置储能设备,可优化电力系统的潮流分布,降低线路传输功率,减少线路损耗,提高系统输电效率,同时避免部分线路和设备因过载运行而引发的安全隐患,提升整个电力系统的稳定性和可靠性。

3 新能源电力系统中的常见储能技术

3.1 电化学储能技术

电化学储能技术依托电池内部的电化学反应实现电能的存储与释放。以锂离子电池为例,在充电过程中,锂离子从正极脱出,通过电解质嵌入负极;放电时则逆向进行,离子的移动形成电流。这种技术能量密度较高,能在相对较小的空间内存储大量电能,适合对空间要求苛刻的应用场景,如分布式能源接入点的储能配置。其响应速度极快,可在毫秒级时间内完成充放电状态的切换,能迅速对电网功率波动做出调节,有效提升电能质量,保障电力系统的稳定运行。在可再生能源发电侧,当风力或太阳能发电功率过剩时,可利用电化学储能系统将多余电能储存起来,待发电不足时再释放,起到“削峰填谷”的作用,平滑发电曲线。电化学储能技术也面临一些挑战,部分电池材料成本较高,如钴等稀有金属的价格波动影响了电池的整体成本,限制了大规模应用。电池的循环寿命有限,随着充放电次数增加,电池容量逐渐衰减,需要定期更换,增加了运营成本与资源回收压力。尽管如此,随着材料科学与制造工艺的不断进步,电化学储能技术在新能源电力系统中的应用前景依旧广阔,其性能有望持续提升,成本进一步降低。

3.2 机械储能技术

机械储能技术包含多种形式,其中抽水蓄能最为常见。抽水蓄能电站在用电低谷时,利用多余电能将水从低水位抽到高水位水库,把电能转化为水的势能储存;用电高峰时,高水位的水通过水轮机发电,势能再转化为电能。这种储能方式技术成熟,容量大,单个电站装机容量可达数百兆瓦甚至更高,能承担大规模的电力调峰任务。其储能周期长,可根据电网需求灵活安排发电时间,从数小时到数天不等,为电力系统提供可靠的备

用电源。压缩空气储能也是一种重要的机械储能技术。在电力富裕时,将空气压缩存储于地下洞穴等储气设施中,需要时释放压缩空气驱动燃气轮机发电。该技术储能效率较高,且对地理条件适应性强,可在缺乏合适水源的地区建设。机械储能技术虽有诸多优势,但建设抽水蓄能电站受地理条件限制,需特定的地形落差与水源条件,建设周期较长。压缩空气储能同样面临储气设施建设成本高、能量转换效率有待进一步提升等问题。不过,在构建大规模、长周期储能的新能源电力系统中,机械储能技术仍将占据重要地位,通过技术改进有望克服现存难题^[1]。

3.3 电磁储能技术

电磁储能技术主要以超导磁储能和超级电容器储能为代表。超导磁储能利用超导线圈在超导状态下无电阻的特性,可长时间存储大量电能。在储能过程中,电流通过超导线圈形成强磁场,将电能以磁场能的形式储存;释放电能时,磁场变化产生感应电流输出。超导磁储能响应速度极快,能在微秒级时间内实现功率的快速调节,可有效抑制电力系统中的暂态波动,提升系统稳定性。其储能效率高,可达95%以上,且几乎无能量损耗,可实现电能的长期高效存储。超级电容器储能则基于双电层原理,在电极与电解质界面存储电荷。它具有功率密度高的特点,能够快速充放电,适合应对短时间内的最大功率需求,如在电动汽车快速启动、制动能量回收等场景表现出色。在新能源电力系统中,超级电容器可用于平抑光伏发电的高频功率波动,与其他储能技术配合,优化电力输出特性。电磁储能技术虽优势明显,但超导磁储能面临超导材料成本高昂、需要低温冷却系统维持超导态等问题,增加了系统复杂性与运行成本。超级电容器储能能量密度相对较低,限制了其长时间大容量储能应用。但随着超导材料技术与超级电容器材料研发的突破,电磁储能技术在新能源电力系统中的应用将不断拓展。

3.4 储热储能技术

储热储能技术是将电能转化为热能存储起来,在需要时再将热能转化为电能或直接用于供热。显热储热是最基本的储热方式,利用储热介质(如水、砂石等)温

度升高时吸收热量、温度降低时释放热量的特性实现能量存储。例如在太阳能热发电系统中,通过熔盐作为储热介质,在白天将太阳能集热器收集的热量储存起来,夜晚可利用储存的热量产生蒸汽驱动汽轮机发电,保证电站持续稳定供电。潜热储热则依靠相变材料在相变过程中吸收或释放大量潜热来储能,相变温度范围较窄且储能密度高,能在较小体积内存储更多能量,适用于对温度稳定性要求较高的供热场景。储热储能技术在能源综合利用方面优势显著,可将低谷电能转化为热能,满足工业生产、居民供暖等用热需求,实现电能与热能的协同优化。在新能源电力系统中,储热储能技术可与风电、光伏等新能源发电结合,将多余电能转化为热能存储,减少弃风弃光现象。该技术也存在一些不足,储热过程存在一定热损失,尤其是在长时间存储时,需要良好的保温措施降低损失。不同储热介质的性能差异较大,合适储热材料的研发与选择仍是提升储热储能技术性能的关键。随着能源高效利用需求的增长,储热储能技术将在新能源电力系统与综合能源系统中发挥更大作用,推动能源的梯级利用与高效转化^[4]。

结语

综上所述,储能技术作为新能源电力系统中的关键支撑,在电力调峰、负荷平衡、电能质量提升、新能源消纳以及系统稳定性增强等方面发挥着不可替代的作用。电化学储能、机械储能、电磁储能及储热储能等多样化技术路径,为应对新能源发电的间歇性与波动性提供了灵活解决方案。未来,随着技术进步与成本降低,储能技术将持续推动新能源电力系统向高效、可靠、低碳方向转型。

参考文献

- [1]朱瑜.新能源电力系统中的储能技术研究[J].电力设备管理,2023(3):111-113.
- [2]金阳.新能源电力系统中的储能技术研究[J].低碳世界,2023,13(11):49-51.
- [3]章晓丽.能源互联网下新能源电力系统中的储能技术研究[J].光源与照明,2024(7):168-170.
- [4]李井,陈哲.新能源电力系统中的储能技术研究[J].科海故事博览,2024(13):1-3.