

电力工程中储能技术的研究与应用

姚玉彬

国网安徽省电力有限公司宿松县供电公司 安徽 安庆 246500

摘要：储能技术是电力工程中不可或缺的一环，其对于电力系统的稳定性、调节能力以及能源的高效利用具有至关重要的作用。本文详细探讨了储能技术在电力工程中的研究现状、具体应用实例、技术挑战及未来发展趋势，以期为电力系统的持续进步和能源结构的优化提供深入的理论支持和实践指导。

关键词：储能技术；电力工程；电力系统稳定性；能源调节

引言

在全球能源转型的大背景下，储能技术正逐渐成为电力工程中不可或缺的一部分。它不仅能够平衡电网的供需差异，还能提高电力系统的调节能力和稳定性。本文旨在深入分析储能技术在电力工程中的具体应用和未来发展，以期对相关研究和工程实践提供参考。

1 储能技术概述与分类

1.1 储能技术的定义

储能技术，顾名思义，是指能够将多余的能量以某种形式存储起来，在需要时将其释放以供使用的技术。它在电力工程中起到了至关重要的作用，特别是在可再生能源大规模接入和智能电网建设的背景下。

1.2 储能技术的主要类型

1.2.1 电化学储能

电化学储能技术，作为一种高效且广泛应用的能量存储方式，主要利用电化学反应来存储和放出能量。这种技术具有以下显著优点：高能量密度、长周期寿命以及快速的充放电能力。以下是电化学储能中的几种主要类型：

锂离子电池：锂离子电池是目前应用最广泛的电化学储能技术之一。它具有高能量密度、长周期寿命和低自放电等优点^[1]。锂离子电池的工作原理是锂离子在正极和负极之间的迁移。在充电过程中，锂离子在正极产生锂离子（Li⁺）和电子（e⁻），然后锂离子经电解质移动到负极，并在那里与电子结合形成中性锂原子，并储存在负极。在放电过程中，锂离子从负极释放并移动回正极，释放其中存储的能量来供电。

铅酸电池：铅酸电池是一种成熟的电化学储能技术，已经使用了数十年。它的工作原理是通过铅和铅氧化物之间的化学反应来存储和放出能量。铅酸电池成本相对较低，可靠性高，但能量密度较低，且重量相对较大。它通常用于汽车启动电池和大型备用电源系统。

钠硫电池：钠硫电池是一种高温电池，其工作温度在300-350摄氏度之间。它使用液态钠作为负极，硫作为正极，并通过钠和硫之间的化学反应来存储能量。钠硫电池具有高能量密度和长寿命的优点，但需要特殊的加热和保温设备来维持其工作温度，因此在实际应用中受到一定的限制。

1.2.2 机械储能

机械储能技术是一类重要的能量存储方式，它主要利用物理原理将电能转换为机械能或势能进行存储。以下是几种典型的机械储能技术：

抽水蓄能：抽水蓄能利用电力将水从低水位抽到高水位的水库储存，当需要用电时，再通过放水使水轮机发电，从而将机械能转回电能。抽水蓄能电站是电力系统中最常用的储能方式之一，特别适用于调节电力系统的峰谷差，提高电网的稳定性和调节能力。抽水蓄能具有储能容量大、储存时间长、技术成熟等优点。

压缩空气储能（CAES）：在电力需求低谷时，利用电力驱动压缩机将空气压缩并存储在地下洞穴或压力容器。在电力需求高峰时，释放压缩的空气，通过涡轮机或其他发电设备将机械能转换为电能。压缩空气储能适用于大规模的能量存储，特别是在需要长时间存储和大规模释放能量的场合。近年来，随着技术的进步，先进的绝热压缩空气储能（A-CAES）系统被开发出来，通过添加热存储和回收系统来提高整体效率。

1.2.3 热储能

热储能技术主要涉及热能的存储和利用，通过特定的介质或材料，将热能储存起来，在需要时释放以供使用。以下是热储能中的几种主要技术：

熔融盐储能：熔融盐储能利用二元盐（如60%硝酸钠+40%硝酸钾）作为主要的储热介质。在电力需求低谷时，通过电加热器加热熔融盐，使其储存热量。在需要时，高温熔融盐与水进行换热，释放热量以产生蒸汽，

进而驱动涡轮机发电或直接供热。熔融盐具有储存热量大、储热时间长、稳定性高等优点^[2]。相比其他储能方式，熔融盐储能对地理因素的要求较低，能够适应不同的环境条件。熔融盐储能广泛应用于太阳能光热发电、火电机组的调峰调频以及供暖与余热回收利用等领域。

相变材料储能：相变材料储能利用物质在相变过程中释放或吸收的巨大热量来储存和释放热能。常见的相变材料包括水、石蜡、脂肪酸等。当物质从固态转变为液态或从液态转变为气态时，会吸收或释放大量热量。相变材料储能具有储能密度高、储能效率高、可重复充放电以及安全性好等优点。此外，相变材料还可以在较小的温度范围内进行大量的热能存储和释放。相变材料储能广泛应用于太阳能、风能等可再生能源的储能领域，以及建筑节能、工业余热回收等领域。

2 储能技术在电力工程中的详细应用

2.1 电力供需平衡与峰值调节

储能技术在电力工程中发挥着至关重要的作用，特别是在电力供需平衡与峰值调节方面。首先，储能系统具有在电力需求低谷时段吸收多余电能，并在高峰时段迅速释放电能以满足需求的能力。这种“削峰填谷”的功能对于减轻电网负荷和提高设备利用率至关重要。具体来说，在低谷时段，电网中的电能可能过剩，此时储能系统可以将这些多余的电能储存起来；而在高峰时段，当电力需求激增时，储能系统则能够迅速释放储存的电能，从而平衡供需差异，减少电网的负荷波动。其次，通过储能系统的应用，电网的稳定性得到了显著提升。在电力需求高峰时段，储能系统能够提供额外的电力支持，防止因负荷过大而导致的电网崩溃或设备损坏。同时，在电力需求低谷时段，储能系统能够吸收多余的电能，避免资源的浪费和电网的不稳定^[3]。再者，储能技术的引入还使得电力设备的利用率得到了提高。由于储能系统能够在需要时提供或吸收电能，因此可以减少对传统发电设备的依赖，从而降低设备的闲置率和维修成本。此外，储能系统还能够与可再生能源发电设备配合使用，进一步提高设备的利用率和电网的可持续性。

2.2 频率与电压稳定支持

储能系统在维持电网频率和电压稳定方面起着关键作用。主要体现在以下几个方面。一是快速响应能力：储能系统具备迅速响应电网频率和电压波动的能力。在电网出现异常情况时，如负荷突变或发电机故障，储能系统可以迅速注入或吸收功率，帮助电网恢复到稳定状态。二是功率支持：当电网频率下降时，储能系统可以迅速释放储存的能量，为电网提供额外的功率支持，从

而帮助提升频率至正常范围。同样，在电压波动时，储能系统也能通过调整其输出功率来稳定电网电压，确保电力质量。三是增强稳定性：随着可再生能源在电网中的占比逐渐提高，其间歇性和不确定性给电网稳定性带来了新的挑战。储能系统的引入，可以有效平抑这些波动，增强电力系统的整体稳定性。通过模拟和实际运行数据表明，储能系统的快速响应特性能够显著降低电网的频率和电压波动，提高电能质量。四是减少故障风险：储能系统的应用还可以减少因频率和电压波动引起的设备故障风险，从而延长设备使用寿命，降低维护成本。

2.3 可再生能源的集成与优化

储能技术在可再生能源的集成与优化中发挥着重要作用，特别是对于风能、太阳能等具有间歇性和不稳定性的能源。以下是储能技术在这一领域中的具体应用体现。第一，平衡可再生能源输出：风能和太阳能等可再生能源的输出受天气条件影响，存在很大的波动。储能系统可以在这些能源产生过剩时储存电能，在能源不足时释放电能，从而平衡其输出，减少对电网的冲击。第二，提高可再生能源利用率：通过储能技术的集成，原本可能因波动性而被浪费的可再生能源现在可以被有效存储并利用。这大大提高了可再生能源的利用率，降低了能源浪费。第三，优化电网接入：储能系统作为可再生能源与电网之间的“缓冲”，可以优化可再生能源的电网接入。它允许可再生能源以更稳定、更可控的方式接入电网，从而提高了电网的整体效率和稳定性^[4]。第四，增强电网调峰能力：在电力需求高峰时段，储能系统可以释放储存的电能，增强电网的调峰能力。这减轻了传统发电厂的负担，并有助于降低运行成本。第五，促进分布式能源发展：储能技术与分布式能源系统相结合，可以实现本地能源的平衡和优化。这有助于减少长距离输电的损失，并提高能源供应的可靠性和经济性。

2.4 微电网与分布式能源系统中的应用

在微电网和分布式能源系统中，储能技术的应用具有多重重要性。一是平衡供需：储能技术在微电网和分布式能源系统中最基本的应用就是平衡电力供需。在电力需求低时，储能系统可以储存多余的电能；在电力需求高时，则释放电能以满足负荷需求。这种“削峰填谷”的作用对于稳定微电网的运行和提高能源利用效率至关重要。二是提供备用电源：储能系统可以在电网故障或断电时作为备用电源，确保关键负荷的连续供电。这对于需要高可靠性的应用场景（如医院、数据中心等）尤为重要。通过储能系统的快速响应，可以避免因电网故障而导致的服务中断或数据丢失。三是增强电网

韧性：在分布式能源系统中，储能技术能够增强电网的韧性，使其更能抵御外部干扰和故障。当电网遭受自然灾害或其他突发事件影响时，储能系统可以提供临时的电力支持，保障关键设施和居民用电需求。四是优化能源利用：储能技术还可以与可再生能源发电设备（如太阳能光伏板、风力发电机等）配合使用，优化能源的利用。通过储存可再生能源产生的多余电能，并在需要时释放，可以减少能源浪费并提高能源利用效率。五是促进智能电网发展：储能技术是智能电网发展的重要组成部分。通过与智能电网技术的结合，储能系统可以实现对电网状态的实时监测和智能调控，进一步提高电网的稳定性和经济性。

3 储能技术的技术挑战与发展趋势

3.1 技术挑战

储能技术在发展过程中仍面临一些关键的技术挑战。一是成本问题：目前储能系统的整体成本仍然较高，这主要源于储能设备的制造成本、维护成本以及电池材料的成本。例如，某些高性能电池的材料成本占据了整个储能系统成本的一大部分。高成本限制了储能技术的大规模应用和普及。二是安全性与可靠性：储能系统涉及大量电能的储存和释放，因此其安全性和可靠性至关重要。一旦出现故障，可能会对生命财产造成严重损失。目前，如何提高储能系统的安全性和可靠性仍是亟待解决的问题，特别是在防止火灾、爆炸等安全事故方面。三是技术成熟度与标准化：尽管储能技术种类繁多，但许多技术仍处于研发或示范阶段尚未完全成熟。此外，储能技术缺乏统一的标准和规范，这导致了市场应用的混乱和技术推广的难度^[5]。为了实现储能技术的广泛应用，需要加快技术研发进程，并推动技术的标准化工作。

3.2 发展趋势

尽管面临挑战，但储能技术的发展也呈现出一些明显的趋势：（1）技术融合与创新：未来储能技术的发展将更加注重多种技术的融合与创新，以提高储能系统的整体性能和降低成本。例如，混合储能技术，如锂离子

电池与铅酸电池、锂电池与超级电容的组合，可以充分利用不同技术的优势。同时，新型储能技术，如钠离子电池、固态电池等，也在不断取得突破，并有望逐步实现商业化应用。（2）智能化与自适应性：借助人工智能和大数据技术，储能系统将实现更高层次的智能化和自适应性。智能算法可以优化储能系统的充放电策略，提高其响应电网需求和市场变化的能力。此外，通过智能监控和预警系统，可以实时监测储能系统的运行状态，及时发现并处理潜在的安全隐患。（3）环保与可持续性：环保意识的提升使得储能技术更加注重环保材料的使用和减少生命周期中的环境影响。未来，储能技术将更多地采用可再生材料和环保工艺，以降低对环境的影响。同时，政府和企业也将更加重视储能技术的环保性能，推动其向更加绿色、可持续的方向发展。例如，研发基于可再生材料的储能技术（如水、盐等），以及优化储能系统的回收和处理机制，以降低对环境的影响。

结语

储能技术在电力工程中的应用正逐步深入，其对于提高电力系统的稳定性、调节能力以及促进可再生能源的利用具有重要意义。面对成本、安全性和技术成熟度等挑战，我们需要不断推动技术创新和研发，以实现储能技术在电力工程中的更广泛应用和可持续发展。

参考文献

- [1]顾文侃,徐琳玮,周廉钧.双碳能源时代下电力系统调度中的储能技术应用研究[J].通信电源技术,2023,40(17):209-211.
- [2]陈自松.新能源电力系统中的储能技术探讨[J].水利电力技术与应用,2023,4(2):16-17.
- [3]王帆.新型电力系统中煤电中长期发展与新能源结合储能的规模初探[J].煤炭经济研究,2023,43(2):12-17.
- [4]张泉雄.储能技术在新能源电力系统中的应用研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(001):000.
- [5]关新,吴世玮,解雨琪,等.储能技术在新能源电力系统中的应用分析[J].蓄电池,2023,60(4):181-185.