

储能技术在新型配电网建设中的应用研究

苏文豪 韩永翔 薛璐璐

国网新疆电力有限公司乌鲁木齐供电公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 随着“双碳”目标推进和能源结构转型,以高比例可再生能源接入等为特征的新型电力系统加速构建,新型配电网面临分布式电源波动、负荷峰谷差扩大等挑战。储能技术具备能量时移、功率支撑等能力,成为破解难题的核心支撑。本文梳理主流储能技术发展现状与特性,剖析新型配电网特征与运行痛点,重点探讨储能技术在提升可再生能源消纳、优化运行经济性、增强供电可靠性与韧性、改善电能质量、支撑需求侧响应等五大场景的应用。同时,分析储能规模化应用面临成本、安全、标准与市场机制等瓶颈,提出发展策略建议。研究表明,储能技术是构建新型配电网的关键要素,其深度融入将重塑配电网规划、运行与商业模式。

关键词: 储能技术; 新型配电网; 可再生能源消纳; 系统韧性; 电能质量; 综合能源服务

引言

在全球推动绿色低碳发展浪潮下,中国提出“2030年前碳达峰、2060年前碳中和”目标,能源清洁低碳转型是关键。当下,风电、光伏等可再生能源装机大增且大量分布式接入配电网末端,电动汽车等新型柔性负荷爆发式增长,配电网负荷特性变复杂,传统“源随荷动”模式难适应新格局。为此,以“清洁低碳、安全充裕”等为特征的新型电力系统出现,新型配电网是其关键载体,是智慧能源枢纽。但高渗透率分布式可再生能源的间歇性与波动性,以及负荷侧尖峰化趋势,给配电网带来挑战。储能技术可实现电能“时间平移”与“空间转移”,有毫秒级响应等优势,可解决诸多痛点。在关键节点部署储能系统能提升配电网性能。所以,深入研究储能技术在新型配电网中的应用意义重大,本文将系统探讨该课题,为相关研究与实践提供参考。

1 储能技术发展现状与特性分析

储能技术种类繁多,根据能量存储形式可分为机械储能、电化学储能、电磁储能和相变储能等。在配电网应用场景下,主要聚焦于以下几类:

1.1 电化学储能

电化学储能是目前在配电网领域应用最广泛、发展最迅速的技术路线,尤以锂离子电池为主导。(1) 锂离子电池:能量密度高、循环寿命长(通常可达4000-8000次)、响应速度快(毫秒级),适用于调频、削峰填谷、备用电源等多种场景。但其成本仍相对较高,且存在热失控的安全风险,对电池管理系统(BMS)要求极高。(2) 液流电池(如全钒液流电池):功率与容量可独立设计,循环寿命极长(>10000次),安全性好,适合长时间、大容量的能量时移应用。但其能量密度低、

系统复杂、初始投资成本高,限制了其在空间受限场景的应用。(3) 钠离子电池:作为新兴技术,其原材料丰富、成本潜力巨大、低温性能好、安全性优于锂电,被视为锂电的重要补充。目前正处于产业化初期,能量密度和循环寿命尚有待提升。

1.2 机械储能

飞轮储能利用高速旋转的飞轮存储动能,具有超高的功率密度、极快的响应速度(微秒级)和近乎无限的循环寿命。特别适用于需要瞬时大功率支撑的场景,如电能质量治理(电压暂降、闪变抑制)和不间断电源(UPS)。但其能量存储时间短(通常几分钟),自放电率高,不适合长时间能量转移。

1.3 电磁储能

超级电容器通过电极/电解质界面形成双电层来存储电荷,具有极高的功率密度、超长的循环寿命(>50万次)和优异的低温性能。其充放电效率高,但能量密度远低于电池,主要用于提供短时、高功率的脉冲支撑,常与电池组成混合储能系统以兼顾功率与能量需求。

2 新型配电网的特征与挑战

2.1 特征

新型配电网是在传统配电网基础上,深度融合先进信息通信技术(ICT)、电力电子技术与多元能源技术而形成的下一代配电系统。其核心特征包括:一是高比例分布式能源接入:屋顶光伏、小型风电、生物质发电等广泛分布,使配电网从单纯的“无源”网络转变为“有源”网络,潮流方向由单向变为双向甚至多向^[1]。二是源网荷储深度协同:用户侧不再是单纯的消费者,而是兼具生产者角色,通过储能、可控负荷等资源与电网进行实时互动。三是高度数字化与智能化:依托物联网、大

数据、人工智能等技术，实现对海量分布式资源的全景感知、精准预测与智能调度。

2.2 挑战

然而，这些特征也带来了前所未有的挑战：（1）电压越限与反向潮流：分布式电源出力高峰时，若本地负荷无法消纳，将导致馈线电压抬升甚至越限，严重时可能损坏用户设备。（2）设备过载与资产利用率低下：负荷尖峰时段可能导致变压器、线路等设备过载，而为了满足短时尖峰需求而扩容，又会造成大部分时间设备利用率低下，投资浪费。（3）系统惯量下降与频率稳定性问题：大量基于电力电子接口的可再生能源替代了传统同步发电机，导致系统整体惯量降低，抗扰动能力减弱。（4）供电可靠性与韧性不足：极端天气事件频发，对配电网的抗灾能力和快速恢复能力（即韧性）提出了更高要求。这些问题的解决，迫切需要一种能够快速、灵活、双向调节的“缓冲器”和“稳定器”，这正是储能技术的核心价值所在。

3 储能技术在新型配电网中的核心应用

3.1 提升可再生能源消纳能力

储能技术是缓解分布式可再生能源间歇性与波动性影响的最直接且有效的手段。当配电网或用户侧配置了储能系统后，可以在光伏发电出力高峰而本地负荷需求较低的时段，将多余的电能储存起来；而在光伏出力不足或夜间负荷高峰时段，则释放储存的电能以满足用电需求。这种“削峰填谷”的运行模式，不仅有效平滑了分布式电源的输出功率曲线，减少了因局部消纳能力不足而导致的弃光、弃风现象，显著提高了可再生能源的就地消纳率，更重要的是，它从根本上缓解了因反向潮流过大而引发的馈线电压越限问题。通过动态调节注入或吸收的功率，储能系统能够维持配电网关键节点的电压在安全范围内，从而保障整个系统的安全稳定运行，为高比例可再生能源的友好接入创造了必要条件。

3.2 优化配电网运行经济性

对于电网公司而言，在变电站出口或馈线负荷密集区域部署储能装置，可以在负荷尖峰时段放电，有效降低主变和线路的峰值负荷，从而延缓甚至避免昂贵的输配电设备扩容或升级改造，大幅节约资本性支出（CAPEX）。这种“延缓投资”的价值在城市核心区或负荷增长迅速但空间受限的区域尤为突出。另一方面，对于工商业用户或园区微网运营商而言，储能系统可以充分利用分时电价政策，在电价低谷时段充电，在电价高峰时段放电，通过峰谷价差套利直接降低自身的用电成本^[2]。此外，随着电力市场改革的深化，具备一定规模

的储能项目还可以作为独立市场主体，参与调频、备用等辅助服务市场，获取额外的运营收益（OPEX），进一步缩短投资回收周期，提升项目的整体经济可行性。

3.3 增强供电可靠性与系统韧性

在面对自然灾害、外力破坏或设备故障等突发事件导致主网断电的情况下，配电网中的储能系统能够与本地的分布式电源（如光伏、柴油发电机）及可控负荷协同工作，迅速切换至孤岛运行模式，为医院、应急指挥中心、通信基站、数据中心等关键负荷提供持续、可靠的电力供应。这种能力极大地提升了配电网在极端情况下的生存能力和快速恢复能力，即所谓的“系统韧性”。特别是在电网基础设施薄弱的偏远山区、海岛或边境地区，由“可再生能源+储能”构成的微电网已成为保障基本民生和公共服务供电的可靠方案。储能在此过程中扮演了稳定器和能量缓冲池的角色，确保了微网内部功率的实时平衡与电压频率的稳定，是构建高韧性配电网不可或缺的核心组件。

3.4 改善电能质量

现代工业生产和高端服务业对电能质量的要求日益严苛，电压暂降、闪变和谐波等电能质量问题可能导致生产线停机、数据丢失甚至设备损坏。储能技术，特别是飞轮储能和超级电容器，凭借其毫秒乃至微秒级的超快响应速度，能够有效应对这类瞬时扰动。当监测系统检测到电网电压出现异常跌落时，储能装置可以在极短时间内向用户侧注入有功功率，迅速支撑电压水平，使其恢复到正常范围，从而保障敏感负荷的连续安全运行。同样，在负载突变引起电压闪变时，储能也能通过快速吸收或释放无功/有功功率进行动态补偿。这种主动式的电能质量治理方式，相比传统的无功补偿装置（如SVC、SVG）更为灵活和精准，已成为高端制造、半导体、金融数据中心等对电能质量要求极高场所的标准配置。

3.5 支撑需求侧响应与综合能源服务

储能是激活海量分散需求侧资源、实现源网荷高效互动的关键媒介。通过先进的信息通信技术和聚合控制平台，可以将区域内众多用户侧的小型储能、电动汽车充电桩、可调节负荷等资源整合起来，形成一个虚拟电厂（VPP）。这个VPP作为一个统一的、可调度的市场主体，能够响应电网的调度指令或参与电力市场交易，提供灵活的削峰、填谷或调频服务，从而将原本被动的负荷转变为宝贵的电网调节资源。更进一步，储能也是构建多能互补的综合能源服务系统的核心^[3]。在“光-储-充”一体化站、“冷-热-电”三联供园区等场景中，储能系统作为能量的“蓄水池”和“调度中枢”，能够协调

不同形式能源的生产、存储与消费,实现能源的梯级利用和时空优化配置,为用户提供安全、经济、绿色的一站式能源解决方案,推动能源服务从单一售电向高附加值综合服务转型。

4 面临的挑战与瓶颈

首当其冲的是经济性问题,尽管近年来储能成本持续下降,但其初始投资依然较高,而当前缺乏清晰、稳定且多元化的盈利模式,导致许多项目的投资回报周期过长,经济吸引力不足。其次是安全风险,尤其是以锂电池为代表的电化学储能,其热失控引发的火灾爆炸事故屡见报端,不仅造成重大财产损失,更严重威胁人身安全和电网稳定,亟需建立覆盖从设计、制造到运维、退役全生命周期的安全标准与管理体系。再次,行业标准体系尚不健全,在并网技术规范、性能测试方法、调度通信协议等方面缺乏统一标准,导致不同厂商设备之间互操作性差,增加了系统集成的难度和后期运维的成本。最后,也是最根本的,是市场机制的缺失。现有的电力市场规则未能充分体现储能作为独立市场主体的独特价值,其参与辅助服务、容量市场等的准入门槛、定价机制和结算方式均不完善,严重制约了其商业化价值的充分释放。

5 发展策略与建议

在顶层设计层面,国家应出台更加明确的储能发展战略,完善强制或鼓励配储的政策,并通过财政补贴、税收减免、绿色信贷等多元化金融工具,有效降低项目的初始投资门槛。在技术层面,需持续加大对固态电池、钠离子电池、先进压缩空气储能等前沿技术的研发投入,突破关键材料与核心装备的“卡脖子”环节,驱动全产业链成本下降与性能提升。在安全与标准方面,应加快构建覆盖储能全生命周期的安全技术标准和管理规范体系,并建立国家级的储能安全监测、预警与评估平台,筑牢安全底线^[4]。在市场机制上,必须深化电力体

制改革,尽快确立储能的独立市场主体地位,设计合理的容量补偿、辅助服务补偿以及能量套利相结合的多元收益模式,为其价值变现打通制度通道。同时,应大力鼓励商业模式创新,积极推广共享储能、云储能、合同能源管理(EMC)等新模式,降低用户使用门槛,盘活存量资产,最终形成政府引导、市场主导、多方共赢的良好产业生态。

6 结语

储能技术作为连接源、网、荷的关键纽带,是构建以新能源为主体的新型电力系统、特别是新型配电网的核心支撑技术。它在提升可再生能源消纳、优化电网运行、保障供电安全、改善电能质量及激活需求侧资源等方面展现出不可替代的价值。面对当前存在的成本、安全、标准与市场等挑战,需要政府、企业、科研机构等多方协同,通过政策引导、技术创新、标准建设和市场机制完善等综合举措,共同营造有利于储能产业健康发展的生态环境。可以预见,随着技术的不断成熟和商业模式的持续创新,储能将深度融入新型配电网的血脉,成为驱动其向更安全、更高效、更绿色、更智能方向演进的核心引擎,为实现国家“双碳”战略目标提供坚实的底层支撑。

参考文献

- [1]陈誉升.储能技术在新型配电网建设中的应用研究[J].科技资讯,2025,23(14):71-73.
- [2]章鑫琨,戴科星.配电网储能技术在新型配电网建设中的应用研究[J].办公自动化,2024,29(21):91-93.
- [3]徐永飞,张海军.考虑储能技术的配电网风光消纳策略[J].微型电脑应用,2025,41(02):277-280.
- [4]谭翔宇,道立宏·吐尔逊,蔡彦龙.考虑配电网分布式电源可靠性的储能技术[J].电子元器件与信息技术,2024,8(04):181-183.