

电化学储能在城市电网规划中的应用研究

The Application of Electrochemical Energy Storage on

Urban Network Planning

张璞 刘景延 左向红 秦冰 方晴

北京电力经济技术研究院有限公司，北京，100055

摘要：当前，城市电网的运行和发展正面临新的挑战，负荷峰谷差进一步加大，电力设备重过载率增加，高负荷密度区对供电可靠性的要求提高，各种新能源对电网安全运行带来新的挑战。本文预判了储能技术发展趋势，探究了利用储能技术解决城市电网规划困境的方法，构建了电化学储能的城市电网中的典型场景，并实例验证了北京北房电网侧储能的应用实践，以期有效解决城市电网规划问题提供创新思路。

Abstract: Recent years, the challenges to the operation and development of urban grids include the larger difference between peak and valley loads, the higher overload rate, the higher reliability requirement among high-load-density area and the higher penetration percentage of renewable energy. This paper firstly forecasts the development of energy storage. Then it proposes the energy storage solutions to network planning, followed by energy storage scenarios in urban grid. The example of Beifang network verifies the new approach of energy storage for the risks in urban network planning.

关键词：电化学储能 电网侧储能 储能典型控制策略

Key words: Electrochemical energy storage, network-side energy storage, control strategy.

1 储能技术发展分析

1.1 储能技术概况

根据国际电工委员会的定义，储能主要通过设备或者物理介质将能量存储起来，并在需要时释放出来。本文中讨论电力系统中的电能存储，即在电力系统中的电经转换变成某种形式的能量存储起来，在需要时再转换回电能，或仍作为某种形式的能量直接应用。^[1]

按照储存介质分类，主要的电储能技术可分为机械储能、化学储能、电磁储能。其中机械储能代表技术为抽水蓄能、飞轮储能；化学储能代表为铅碳电池、锂离子电池、全钒液电池、钠硫电池等，电磁储能主要代表为超级电容和超导储能。抽水蓄能和空气压缩储能，技术成熟度高、规模大、运维成本低，但是都需要特殊的地理资源条件，不适合城市地区使用。超级电容和压缩空气储能尚处于研发阶段，不适合大规模推广使用。电化学储能具有设备机动性好、响应速度快、能量密度大、循环效率高、对地理条件限制少等技术优势，是各国储能产业研发创新的重点领域和主要增长点。目前主流储能技术成熟度对比图如下。

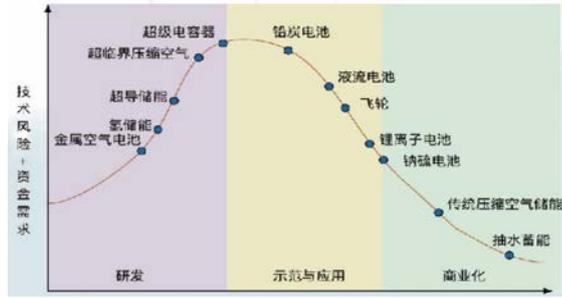


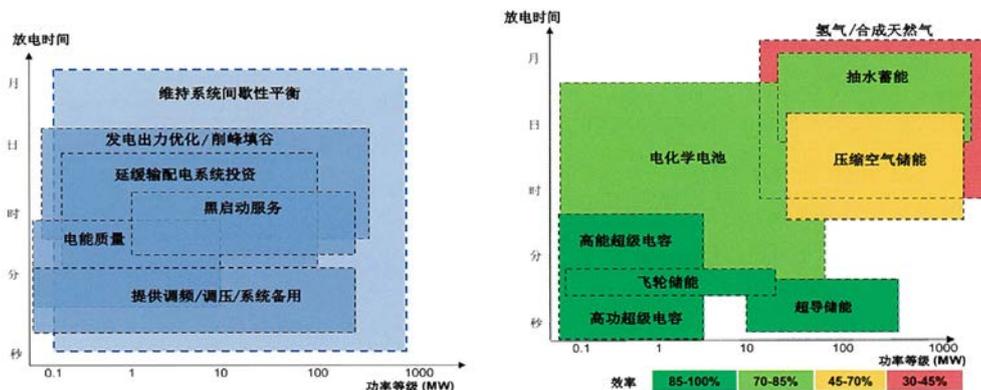
图 1 储能技术成熟度比对

1.2 储能发展趋势判断

储能产业的政策环境不断优化，促使储能产业发展。2011年，储能首次被写入“十二五”规划纲要。“十三五”以来，储能产业对能源发展和社会经济进步的重要战略意义得到社会各界肯定。2017年，国家发改委、国家能源局等五部门联合发布《关于促进储能技术产业发展的指导意见》（发改能源[2017]1701），明确提出未来储能技术应由研发示范向商业化、规模化转变。2019年国网公司和南网公司分别出台《关于促进电化学储能健康有序发展的指导意见》和《关于促进电化学储能发展的指导意见》，提出投资建设、技术研究等方面的重点推进任务。政策利好为推动储能产业发展提供了有效支撑。

较强的技术竞争力为电化学等储能技术在电力系统中赢得一席之地。相对于传统的电源调节手段建设周期长、站址资源受限，电化学储能装置建设周期短，布置灵活。从外特性上看，传统电源在负荷低谷调峰时只能压低技术出力、不具备“填谷”能力；储能充电和放电过程可分别表现为负荷和电源，同时具备“顶峰”和“填谷”能力。从调节能力和响应特性上看，传统电源进行频率调节时存在延迟和偏差，导致利用率下降、爬坡启停频繁且设备寿命降低；电化学储能技术能够实现精准控制和稳定输出，调节延迟和偏差小，短时响应性能和爬坡能力强。^[2]

不同储能的技术特性存在差异，电化学储能更适用于城市电网。电力系统的不同应用环节对储能装置的放电时间和功率等级的要求不同，技术特性的局限决定了某一类储能技术只适用于特定应用场景。从城市电网需求与储能技术的匹配来看，电化学储能选址灵活，持续放电时间相对较长(分钟至小时级)，功率等级、能量转化效率、循环寿命相对较高，充放电转换较为灵活，更适用于城市电网的削峰填谷、延缓输配电投资、改善电能质量、提供紧急功率支撑等系统工况。



(a)不同系统工况对放电时间和功率等级需求

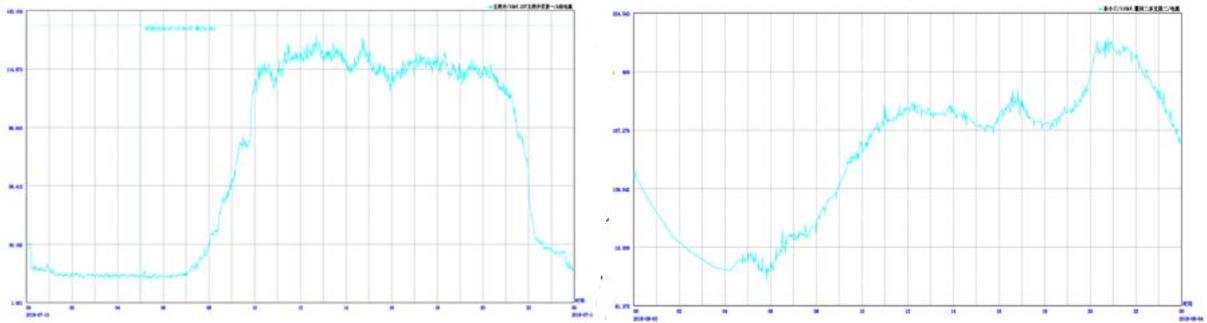
(b)不同储能技术的放电时间和功率等级特性

图 2 不同系统工况与不同储能技术特性的分析比较^[2]

2 城市电网规划中的问题与瓶颈

(一) 城市电网电力负荷峰谷差不断加大，且高峰负荷持续时间短，主变备用容量冗余度增大。

以北京电网内居民、商务办公类客户为例，在夏季高峰时段，日峰谷差往往达到 50% 以上，商业办公类负荷尖峰负荷一般在上午 10:00 至下午 13:00 之间，持续约 3 个小时，居民负荷的尖峰一般出现在 19:30-22:00 之间，持续时间约为 2 个小时。尖峰负荷具有时间短、幅度高的特点。常规规划时设备容量往往需要按照尖峰负荷选取，造成了设备整体利用率较低和部分投资的浪费。而储能设备可在用电低谷时作为负荷存储电能，在用电高峰时作为电源释放电能，实现发电和用电解耦及负荷调节，在一定程度上减弱局部电网峰谷差，从而有效延缓甚至减少电源和电网建设，提高能源利用效率和电网整体资产利用率。



(a) 典型商业办公负荷夏季典型日曲线

(b) 典型居民负荷夏季典型日曲线

图 3 不同类别负荷典型曲线

(二) 电网局部区域重过载问题与规划资源落地的矛盾日益严重。

北京电网 2017 年度夏期间有 20% 的 220 千伏主变负载率超过 80%；28% 的 220 千伏主变 N-1 负载率超过 130%。部分站点已达到终期规模，且周边新增站点难度较大。新规划的 500 千伏站点的投运周期在 3-5 年；220 千伏站点的投运周期在 2-3 年。采用储能可平衡重载主变尖峰负荷，降低主变峰谷差，有效延缓甚至减少电网建设投资。

(三) 国家重大项目、重大活动对电网供电可靠性和灵活性提出了更高的要求。

部分重要客户供电可靠性不高，外电源运行环境差，有的甚至存在单电源问题。目前主要使用应急电源手段包括柴油发电机和 UPS 电源车，在平时需保证一定的油量储备，无法做到环保、节能、无污染和不间断供电，且在不参与保电状态下无有效利用场景，运维成本较高。储能设备作为不间断政治供电电源，具有零排放、零噪声、响应快、效率高、机动性强等优势，可作为常规保电措施的有效补充，以进一步增强保电安全水平，形成配置合理、功能互补的政治供电装备系列。

综上所述，传统电网规划的技术瓶颈，已不适合解决大中型城市电网出现的问题，不适应现代城市电网发展的新趋势。而储能是可再生能源接入、需求侧管理、电动汽车充放电必不可少的支撑技术，它的发展与应用则为城市电网提供了新的规划思路。

表 1 2018 年北京电网各类问题分类

序号	所属环节	问题	数量
1	输电网侧	500kV 输电设备负载率过高	4

序号	所属环节	问题	数量
2		220 千伏设备 N-1 故障，将导致相关运行设备过载运行	22
3	配电网侧	110 千伏设备 N-1 故障，将导致相关运行设备过载运行	106
4	负荷侧	客户负荷峰谷差大	--
5		客户供电可靠性问题	--
6		偏远山区冬季煤改电	--
7		政治供电保障问题	--

3 电化学储能在城市电网中的场景构建

电化学储能在电网中可应用于发、输、配、用各个环节，参考美国能源局（United States Department of Energy, DOE）的分类标准，可将储能技术应用场景划分 5 大类，包含可再生能源并网（集中式）、电网辅助服务、电网输配、分布式及微网、用户侧。上述各应用场景对储能规模及放电时间需求各异，每种应用场景有其相对应的储能规模上下限及放电时间的上下限。而针对储能在城市电网的应用场景，可分类归纳如下：

3.1 电网侧应用场景

储能技术在电网侧主要可用于以下三个场景。

一是保障电网安全稳定运行。储能通过电力电子器件的联结，实现有功、无功的快速灵活调控，主动参与系统的动态行为，当系统出现故障时快速响应，在较短时间内平抑系统的震荡，快速支撑电力缺额，稳定电网频率、电压等，提高电网抵御事故风险能力。储能系统可在电网发生枢纽变电站全停、外受电通道故障或燃气电厂全停等严重故障时提供稳定不间断应急电源，大幅提升电网安全稳定水平。

二是参与电网辅助服务。可用于电力系统一次调频、自动发电控制（Auto Gain Control 简称 AGC）、调峰、无功调节、备用、黑启动等。储能参与辅助服务市场，是一种多赢的局面。增加电网调频能力，维持电网稳定运行的同时，减少了火电机组的损耗，高效缓解了新能源的并网消纳。

三是缓解输电阻塞、延缓输电网、配电网的升级。针对电网存在局部地区主变容量不足的问题，或对于部分已达到终期规模，且周边站点普遍负载率较高，不具备负荷导出条件或通过新建站点可解决但代价较大的主变，考虑采用储能作为短期过渡手段，平衡重载主变尖峰负荷，降低主变峰谷差，有效延缓甚至减少电网建设投资。

需要说明的是，应用在电网侧的储能，多对容量和功率输出都有规模的要求，容量型服务如电网调峰、加载跟随和黑启动等储能规模需达到一定体量，一般 1-500 MW 之间，放电时间大于 1h；功率型服务如调频辅助和电压支持，需要在短时间内有较大的功率或电压输出。

3.2 负荷侧应用场景

储能技术在负荷侧主要可用于以下两个场景。

一是保障用户供电可靠性。储能装置在系统发生电力故障时，能够将储备的电力供应给终端用户，避免了故障修复过程中的电能中断，以保证供电可靠性，从提升政治供电可靠性水平。

二是利用储能峰谷特性进行套利。工商业用户低谷储能，峰期自供给，削峰填谷可以带来可观的经济收益，为用户节约电费，降低峰值容量，更能进行负荷与发电预测、能量调度，使用户的用电负荷趋于平衡，实现电能的精细化管理与优化。

4 储能装置典型控制策略

根据储能特性，其投入方式主要有两种，一是低谷负荷时期充电，高峰负荷投入运行。二是正常情况下充电备用，事故发生时投入运行。同时考虑电网安全运行约束条件，按照不同的效果对储能充放电策略进行分类：

4.1 削峰填谷型控制策略

削峰填谷型控制策略指储能装置在负荷低谷时段充电，在高峰时段放电，全天充放电量实现自平衡。该种策略适应于城市电网中负荷曲线峰谷差较大，且过载情况较轻的站点。

该种控制策略可达到两种效果：（1）对于重载变电站，可将主变 N-1 后负载率限制在 130% 以内；（2）对于正常运行方式下就已过载的主变，可将运行主变负载率限制在 100% 以内。

4.2 最小负载率控制策略

最小负载率控制策略指按照投入储能后主变最小负载率控制，全天多次充放。理想状态下变电站全天负荷曲线为一条直线。该种策略是储能装置实现全天充放电自平衡所能配置的最大储能容量，即每天充电电量等于每天放电电量，可将变电站的负荷控制在固定值。

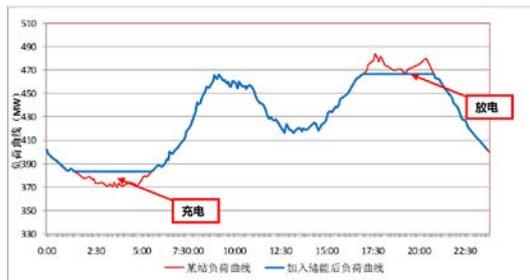


图 4 削峰填谷控制策略

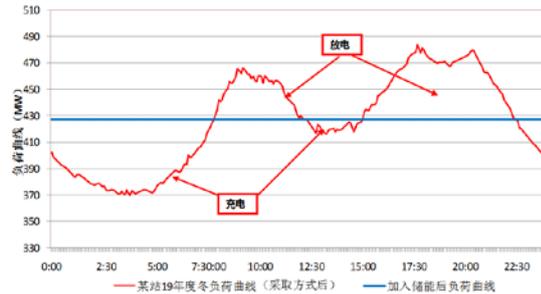


图 5 按最小负载率控制策略

4.3 应急供电策略

按照事故状态下应急供电需求，储能装置在大负荷期间全天满电备用，仅在设备出现故障时放电。储能装置的容量按照至少满足主变故障条件下，运行主变负载率不超过 130% 两小时的运行时间配置；在线路故障条件下，运行线路负载率不超过 100% 两小时的运行时间配置。

5 怀柔北房储能工程实践

怀柔位于北京东北部，是北京市城市新总规明确提出的“三城一区”重点发展区域，地域南北狭长，山区面积占比 89%，山区和平原负荷分布基本与面积成反比。怀柔电网主网架较为薄弱，仅有双回 220 千伏线路串带 2 座 220 千伏变电站为地区供电。电源单一，发生 N-2 故障将导致变电站全停，安全运行风险较大。同时随着未来科学城负荷增长、大容量业扩及煤改电负荷的接入，变电站负载率较重，2018 年度冬期间两座 220 千伏主变负载率分别达到 95% 和 66%，均不满足 N-1 运行条件。

规划解决变电站重载的工程为扩建 1 座地区变电站，及新建一座变电站。受工程前期建设进度影响，预计于 2021 年度冬前投运。由于工程措施难以尽快实施，近期怀柔站采取方式后仍不满足 N-1 校验，因此考虑在重载 220 站的下级

110 北房站内采用储能装置缓解主变重过载情况。怀柔站 1#变冬季大负荷曲线如下图所示，（2#、3#变曲线与 1#变曲线类似）按照怀柔主变 N-1 不超过 130%控制。以储能装置全部接入 1#变为例，测算储能配置容量。

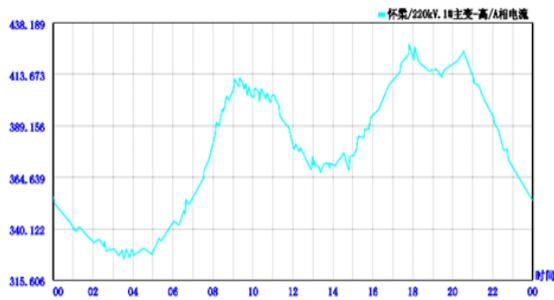


图 6 怀柔 220 千伏站度冬 1#变冬季典型负荷日曲线



图 7 怀柔北房站电网侧储能装置

根据削峰填谷型运行策略测算，在采取方式措施后，按照储能装置全天一充一放考虑，同时考虑储能放电损耗等因素，留有 20% 裕度，则需在怀柔站接入储能容量为 30 兆瓦时规模的储能，可保障怀柔站冬季主变 N-1 负载率不超过 130%。若按照最小负载率控制策略，全天多次充放，根据怀柔站负荷曲线模拟，储能装置最大可将怀柔站负载率限制在 79.1% 左右。主变负载率大于 79.1% 时放电，低于 79.1% 时充电，储能最多可布置 325 兆瓦时。

按照前期研究论证，怀柔北房储能电站已于 2019 年 6 月正式投入电网运行，建设规模为 15MW/30MWh，总占地面积 0.42 公顷，配置预制舱室电池储能单元模块，通过 10 千伏线路接入北房站 10 千伏母线，作为北京电网侧储能电站解决工程落地受限情况下，地区供电能力不足问题。同时验证储能削峰填谷、调压调频等功能特性，探索储能在怀柔科学城综合能源中的应用。

6 结论

随着城市电网的发展，对规划方案及技术均提出了新的要求与挑战，而储能技术所具有的“能量时空转移功能”，拓宽了电力系统平衡问题的解决途径与维度，成为提升电网安全稳定水平的有效手段。储能技术实现了电能与其他能源的高效转化利用，有助于多能源系统的互补协调运行，对于构建能源互联网，推动能源生产和利用方式变革具有重要意义。

参考文献：

- [1] International Electrotechnical Commission
- [2] 《2019 中国储能产业现状分析与展望蓝皮书》，国网能源研究院有限公司。
- [3] 《Electricity Storage Facebook》,SBC Energy Institute.

第一作者简介：张璞（1986-），女，汉，硕士研究生，高级工程师，从事城市电网规划设计，主要研究方向为电力系统规划，新能源与储能技术，智能电网技术等。

联系方式：通信地址：北京市西城区广安门车站西街 15 号，100055，北京电力经济技术研究院，13810630789，zhangpu_bj@163.com。