

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.03.001

储能技术应用场景和发展关键问题

张东辉¹, 徐文辉², 门锟¹, 张树卿³, 卢嗣斌⁴

(1. 清华四川能源互联网研究院, 成都 610042; 2. 深圳市南科燃料电池有限公司, 深圳 518000;
3. 清华大学电机工程与应用电子技术系, 北京 100084; 4. 贵州电网公司电网规划研究中心, 贵阳 550000)

摘要: [目的]储能是能源互联网的重要组成部分和关键支撑技术, 能够提供调峰、调频等多种服务, 是提升传统电力系统灵活性、经济性和安全性的重要手段。[方法]综述了现有主要储能技术的特点, 分析了电源侧、用户侧和电网侧应用场景下储能的作用和需求。根据应用现状, 指出影响储能进一步发展应用的安全性、经济性和商业模式关键问题。[结果]最后从储能应用方角度提出应加强储能运行模拟、多重组合利用、集中和分散相结合等建议。[结论]研究结论可为储能技术的应用研究和提供发展提供参考。

关键词: 能源清洁化; 能源互联网; 储能; 仿真

中图分类号: TK02

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2019)03-0001-05

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Application Scenarios of Energy Storage and Its Key Issues in Development

ZHANG Donghui¹, XU Wenhui², MEN Kun¹, ZHANG Shuqing³, LU Sibin⁴

(1. Sichuan Energy Internet Research Institute, Tsinghua University, Chengdu 610042, China;
2. Shenzhen Southerntech Fuel Cell Co., Ltd., Shenzhen 518000, China;
3. Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;
4. Power Grid Planning Research Center, Guizhou Power Grid Corporation, Guiyang 550000, China)

Abstract: [Introduction] Energy storage is an important component and key supporting technology of Energy Internet. It can provide various services such as peak shaving and frequency modulation. It is an important means to enhance the flexibility, economy and safety of traditional power system. [Method] This paper reviewed the characteristics of the existing main energy storage technologies, and analyzed the functions and requirements of energy storage at power supply side, user side and grid side. According to the status quo of application, the key issues of safety, economy and business model of energy storage are pointed out. [Result] The results show that the energy storage operation simulation, multiple combination utilization, combination of concentration and dispersion should be strengthened from the perspective of energy storage application. [Conclusion] This work provides some guidance for further study on the application research and development of energy storage technology.

Key words: energy cleanup; energy internet; energy storage; simulation

我国能源转型的重要手段是提高清洁能源在发电中的比例, 发展新能源是我国能源发展的基本方向。2018年, 非化石能源发电量占全部发电量的比重约为30%, 国家发展改革委、国家能源局2016年12月29日发布的《能源生产和消费革命战略

(2016-2030)》提出2030年比重大力力争达到50%, 必须大力发展风电、光伏等新能源才能实现该目标。根据国际能源署《电力转型——风电、光伏以及灵活性电力系统的经济性》报告^[1], 因系统不同, 可再生能源年发电量占比达到25%~40%时, 亟须对电力系统传统电源配置、运行方式、输电规划等做出重大调整, 提出新的电力系统规划、运行和控制方案等。

储能技术在提高电网对新能源的接纳能力、电

收稿日期: 2019-08-30 修回日期: 2019-09-03

基金项目: 国家重点研发计划资助“多能互补高效梯级利用的分布式供能关键技术 课题5: 分布式能源系统主动调控”(2018YFB0905105)

网调频、削峰填谷、提高电能质量和电力可靠性等方面的重要作用已经在国际上达成共识。近年来,随着电化学储能技术的不断成熟、成本的快速下降,我国电化学储能增长迅速,总装机容量从2015年的105 MW增长到2018年的1.034 GW,年增长114%。储能从时间上对能量灵活搬运功能,可以使得可再生能源发电对电网更加友好、可控,参与电网调峰、调频等辅助服务,为电网安全运行提供支撑,还可以装置于用户侧,为用户提供峰谷调节、提升供电能力、提升供电可靠性等多种需求,因此,储能在发电侧、电网侧和用户侧均取得快速规模化应用^[2-7],已经成为我国能源清洁化转型和能源互联网发展的重要组成部分和关键支撑技术。

储能技术类型多样,特点差别较大,适合的应用场景也有较大差别,目前发展也遇到一些关键问题,本文就储能的技术特点、应用场景、面临的主要问题等进行综述总结,并给出对策建议,为储能技术发展和应用提供支撑。

1 储能技术现状

广义的储能技术包括储电、储热、其他形式转换(如电制氢)等,这里主要讨论时间周期日以下、以充放电为目标的电储能技术。

根据充放电能量转换形式,大致可以分为物理储能、电化学储能以及电磁储能,物理储能主要包括抽水蓄能、压缩空气储能、飞轮储能等;电化学储能主要包括铅酸电池储能、锂离子电池、铅炭电池、钠硫电池、液流电池等;电磁储能主要包括超级电容器储能、超导储能等。

从储存能量的时间尺度和为电力系统提供支撑的功能来看,主要分能量型储能和功率型储能,功率型储能特点是比功率高,主要用于瞬间高功率输入、输出场合,一般为中短期储能,放电时间为秒级到分钟级,典型的如飞轮储能、超级电容储能和超导储能;能量型储能特点是比能量高,主要用于高能量输入、输出场合,一般为中长期储能,放电时间达到小时至日级别,典型的如抽水蓄能、锂离子电池、铅炭电池等。

从技术成熟度看,抽水蓄能是目前电力系统最为可靠经济、容量最大、技术最完善、寿命最长的大规模储能技术,应用已经超过100年,至2018年底,我国抽水蓄能占储能装机容量约96%,储存

能量的释放时间可以从几小时到数天,综合效率75%左右,非常适合用于电力系统调峰和用作长时间备用电源的场合。抽水蓄能的主要应用问题是其建设对地理条件要求比较高,建设周期也较长,单体容量较大,对于贴于负荷中心的应用建设场地越来越难以寻找。

除了抽水蓄能,我国其余电储能基本上是各类电化学储能,包括锂离子电池、铅蓄电池、液流电池。从技术应用上来说,这三类电化学储能已经比较成熟,具有单体容量小、施工安装难度小、建设速度快,能够贴近负荷、各类新能源灵活配置,随着价格的不断降低,近年来,快速大量发展,至2018年底合计占储能装机比例约3.3%,其中,锂离子电池占比约72%,铅酸电池占比约25%,液流电池占比约2%。

如表1至表2所示,这里分别从电池性能、经济性、安全性、工程实施、可回收性,对三种主要电化学储能进行了概要比较。

表1 三种主要电化学储能性能指标

Tab. 1 Performance indicators of three main electrochemical energy storage

储能形式	性能			循环次数/次	全生命周期度电成本/(元/kWh)
	深度充电	高倍率放电	快速响应		
锂电池	良好	优秀	优秀	5 000~8 000	0.5(0.4~0.9)
铅蓄	良好	良好	良好	3 000~5 000	0.5(0.46~0.54)
液流	优秀	一般	良好	8 000~15 000	0.64(0.53~0.74)

表2 三种主要电化学储能工程评价

Tab. 2 Project evaluation of three main electrochemical energy storage

储能形式	安全性	工程实施		可回收性
		占地	重量	
锂电池	燃烧爆炸风险	1	1	不易回收
铅蓄	基本无安全风险	1.5	2.5	不易回收
液流	有毒,但密封好后无危险	4	3.5~5	电解液直接回收

注:占地和重量是以锂电池为基准的相对粗略比较。

总体来说,锂离子电池各方面的综合表现较为优秀,铅蓄电池成本较低,液流电池循环寿命长但是初始投资大,且工程实施对场地要求较大。锂离子电池对于功率型和能量型应用均有较好表现,工程实施性好,应用范围较广;随着电动汽车的快速

发展,锂离子电池的研发生产已有规模效应,造价成本下降趋势较快,因此,锂离子电池获得较优的综合性价比,实际应用规模也最大。铅蓄电池技术传统但也有技术进步,初始投资成本低一直是其突出优势,在大容量充放电的能量型应用场合也有较多应用。

由于抽水蓄能技术、应用和商业模式都比较成熟,后面储能应用和讨论主要针对的是非抽水蓄能的电储能。

2 储能的应用场景和需求

储能技术在提高电网对新能源的接纳能力、电网调频、削峰填谷、提高电能质量和电力可靠性等方面的重要作用已经在国际上达成共识。

储能的灵活性、特点和应用场景非常多,差异比较大,但根本上都是通过能量的时间转移存储,解决电力系统发用电的即发即用、时刻平衡带来不灵活的缺点,秒级到分钟级的能量平衡归为频率调节需求,小时级的能量平衡归为峰谷调节需求。另一方面,随着新能源的大规模快速增多,由于其发电的刚性,或可调节性较差,对电力系统的不同时间尺度能量平衡要求更高,带来更大的调峰调频需求。

从全社会角度看,通过储能进行能量的时间转移存储、发电和负荷曲线更优匹配,增强电力系统消纳更大规模清洁能源能力,提高电能质量,降低电力系统综合投资,达到电力供能更加清洁、综合社会成本更低的目的,从而增强我国工业竞争力、实现社会发展绿色低碳的最终目标。

从电力系统发输配用各个环节看,储能装设在各个环节的作用和侧重点也是不一样的。

2.1 发电侧储能

储能装设在发电侧,又包括传统电源侧和新能源侧,这两个场景对储能的要求和性能要求有很大的差别,讨论发电侧储能应该把传统电源侧和新能源侧这两个储能区分开来。

调频储能配套装设在火电厂侧,主要是进行协助提供二次调频辅助服务。当参与二次调频的火电机组受爬坡速率限制,不能精确跟踪调度调频指令时,由高速响应的储能根本上改善火电机组的AGC能力,从而获得更多的AGC补偿收益。这是目前储能商业模式典型成熟成功的一个场景。

储能装置于风电、光伏等新能源厂站,可以平滑新能源出力的功率波动性,可以跟踪发电计划,应对考核奖惩;可以削峰填谷,储存电量减少弃光弃风,提升经济效益;还可以提升新能源的调频调压能力,主要是一次调频、基础无功支撑能力,使得新能源对电网更友好。

2.2 用户侧储能

储能装设在用户侧,有几个应用场景和目的:

1)工商业用户通过装设储能节省电费开支。包括利用储能调节峰平谷不同电价时段的用电电量,节省电费支出;通过储能减少报装容量水平,节省报装基本容量费。

2)微网和重要用户。储能作为分布式电源提升局部电网供电可靠性,支撑电网独立运行能力。

3)分布式新能源配套储能。

其中,工商业用户通过装设储能节省电费开支,是目前用户侧储能投产规模最大的场景,商业模式也较为成熟,但总体上受电价政策影响较大。

此外,用户装设储能后还能作为分布式储能响应电网功率调度要求,对电网输出功率,支撑电网电能质量稳定。未来,随着电力市场改革的进一步深化,还可能利用储能参与电力市场,进行套利。

2.3 电网侧储能

电网侧储能,从字面上理解是接入电网侧的储能,为电网提供供电、削峰填谷、调频调压等功能服务,一般容量大、规模大,典型的是抽水蓄能。电网侧储能作为电网中优质的有功无功调节电源,对电网的安全稳定经济运行意义重大,随着大规模电化学储能的成熟,也已经有多多个试点应用,国家电网最新发布的《国家电网有限公司关于促进电化学储能健康有序发展的指导意见》:在工程可研设计、建设改造等环节,将电网侧储能视为电网的重要电气元件和一种技术方案选择,进行综合比选论证。目前应用的电网侧储能主要发挥以下三个作用:

1)供电和削峰填谷。江苏镇江^[6]因为当地机组退役,导致电网供电能力不足,为了保证用户供电,利用锂电池储能投产速度快的优势,满足镇江地区供电需求,减少有序供电压力;湖南大容量电网侧储能投产目的之一,也是可以有效满足当地峰值负荷供电需求。

2)一次调频。系统内存在较大频率波动风险

(如大容量直流、大容量机组等大电源丢失风险),而系统相对较小或系统内机组一次调频能力相对不足(如大规模新能源的接入、已有机组一次调频能力有限等),需要储能等快速充放电设备协助确保系统安全稳定运行。江苏和湖南的大容量储能都有这个应用目的。

3) AGC 调频辅助服务。大容量电网侧储能或独立储能电站应具备 AGC 这个能力,目前国内山西等地刚刚开始试点,在美国这个商业模式已经非常成熟。

4) 储能还可以应用在配网侧,比如台区储能的应用,解决动态扩容、调节末端电压等。

5) 电网丰富储能应用模式。国家电网推行“三站合一”,即原变电站改造为变电站、充换电站(储能站)和数据中心站三站合一,在坚强智能电网的基础上建设泛在电力物联网,发挥集中调控大量分布式储能的作用。南方电网积极支持储能技术发展和应用,作为推进数字化转型和数字南网建设的重要组成部分。目前电网侧储能主要是电网投资,集中大容量布点,服务于电网供电和安全运行,电网后续也可以通过云方式购买服务,调用大量分布式储能为电网服务,从这个意义上来说,也可以定义有为电网安全和供电服务功能、以及接入电网侧的都叫电网侧储能。

3 储能发展面临的关键问题和应用建议

储能作为能源清洁化转型和能源互联网发展的重要组成部分,装机规模快速增长,然而,由于技术经济和政策配套还没完全跟上,在其发展和应用过程中仍面临几个关键问题:

一是安全性问题。特别是锂电池储能在辅助火电厂调频等高频次、高倍率充放电情况下,对储能系统安全可靠性要求较高,韩国已经发生多起电化学储能起火事件,国内也有发生。

二是电化学储能的经济性问题。目前总体上来说电化学储能全寿命周期度电成本相对较高,限制了储能在多个场合应用,若储能全寿命周期度电成本 0.5 元,应用于峰谷调节或解决新能源弃电场景,要求有足够的峰谷电价差或新能源电量价格。

三是部分场景商业模式还在探索,尤其是电网侧储能投资和回收机制不够清晰,导致电网侧储能发展没有较好的持续性。

上述问题的解决主要需要依赖储能系统技术进步、标准制订和政策调整,特别是对于电网侧储能,相关政策标准的制定更为关键,如储能的合法身份界定,接入、安全、消防标准制定等,需要生产和集成厂家、行业和政府一起努力,这里不再讨论。下面仅就各个储能应用层面提出以下几个建议:

1) 重视储能在电网运行模拟和仿真,建立储能应用的评价指标体系。储能系统高度灵活可控,其作用的发挥高度依赖于其控制策略的优化和实现,因此,需要高度重视储能在电网运行模拟和仿真研究,研究储能的暂态特性和控制,研究储能中长期能量控制策略的优化,研究相关建模仿真工具的实现,研究并建立电力新型储能的暂态分析模型和经济分析模型,开展储能规划方法模型集算法研究,建立储能应用的评价指标体系。

2) 充分利用储能技术多样化、功能多样化特点,重视储能综合功能的多重利用,探索多种储能技术的组合利用。掌握各类储能基础数据,对各类储能技术特性、适用场景有全面把握,合理预测发展趋势。在此基础上,重视储能综合功能的多重利用,如用户侧储能,既可以调节峰平谷不同电价时段的用电量,节省电费支出,也可以减少报装容量水平,节省报装基本容量费,还可以作为需求侧响应、电网安全支撑的一部分。未来,积极探索多种储能技术组合利用,如能量型储能锂离子电池和功率型储能飞轮储能组合,既能满足电池调用频次高的需求,也能满足较大规模能量转移存储的需求。

3) 储能建设集中和分散相结合,充分利用云平台实现储能的共享利用^[7]。储能还是集中与分散相结合,单个场站和用户的特性改善与系统层面集中储能实行合理分配,比如储能应用在新能源场站,就地储能应以短时间尺度改善调频调压性能、出力波动性为主要目标,而新能源缺乏的调峰能力和二次调频能力属于系统层面,应建立长时间尺度、大容量集中式储能场站,各个新能源场站利用云平台共享利用。此外,对于多个分散式的储能电站,利用云平台实现集中调用,作为需求侧响应,为电网提供支撑也是储能电站功能充分利用的重要发展方向。

4 结论

1) 电化学储能具有性能优越、应用灵活的特点, 随着技术成熟和成本的快速下降, 在我国电力系统中呈爆发增长趋势。电化学储能以锂离子电池为主, 其次是铅酸电池和液流电池。

2) 储能进行能量的时间转移存储、发电和负荷曲线更优匹配, 增强电力系统消纳更大规模清洁能源能力, 提高电能质量, 降低电力系统综合投资, 在发电侧、用户侧和电网侧均有广泛的应用, 但在各个环节的作用和侧重点也是不一样的, 目前发电侧、用户侧储能的应用商业模式已经较为成熟。

3) 储能发展和应用过程中仍面临安全性、经济性和商业模式关键问题, 本文就应用层面提出的建议有: 重视储能在电网运行模拟和仿真, 建立储能应用的评价指标体系; 充分利用储能技术多样化、功能多样化特点, 重视储能综合功能的多重利用, 探索多种储能技术的组合利用; 储能建设集中和分散相结合, 充分利用云平台实现储能的共享利用。

参考文献:

- [1] International Energy Agency. The power of transformation: wind, sun and the economics of flexible power systems [R]. U. S. A.: International Energy Agency, 2014.
- [2] 李建林, 田立亭, 来小康. 能源互联网背景下的电力储能技术展望[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(23): 15-25.
LI J L, TIAN L T, LAI X K. Outlook of electrical energy storage technologies under energy internet background [J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(23): 15-25.
- [3] 袁小明, 程时杰, 文劲宇. 储能技术在解决大规模风电并网问题中的应用前景分析[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(1): 14-18.
YUAN X M, CHENG S J, WEN J Y. Prospects analysis of energy storage application in grid integration of large-scale wind power [J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(1): 14-18.
- [4] 贾燕冰, 郑晋, 陈浩, 等. 基于集合经验模态分解的火-储联合调度调频储能容量优化配置[J]. 电网技术, 2018, 42(9): 2930-2937.
JIA Y B, ZHENG J, CHEN H, et al. Capacity allocation optimization of energy storage in thermal-storage frequency regulation dispatch system based on EEMD [J]. Power System Technology, 2018, 42(9): 2930-2937.

- [5] 潘福荣, 张建赟, 周子旺, 等. 用户侧电池储能系统的成本效益及投资风险分析[J]. 浙江电力, 2019, 38(5): 43-49.
PAN F R, ZHANG J Y, ZHOU Z W, et al. Cost-benefit and investment risk analysis of user-side battery energy storage system [J]. Zhejiang Electric Power, 2019, 38(5): 43-49.
- [6] 李建林, 王上行, 袁晓冬, 等. 江苏电网侧电池储能电站建设运行的启示[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(21): 1-9.
LI J L, WANG S X, YUAN X D, et al. Enlightenment from construction and operation of battery energy storage station on grid side in Jiangsu Power Grid [J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(21): 2-8.
- [7] 康重庆, 刘静琨, 张宁. 未来电力系统储能的新形态: 云储能[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(21): 2-8.
KANG C Q, LIU J K, ZHANG N. A new form of energy storage in future power system: cloud energy storage [J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(21): 2-8.

作者简介:



ZHANG D H

张东辉 (通信作者)

1984-, 男, 安徽庐江人, 清华四川能源互联网研究院系统分析与混合仿真研究所所长, 硕士, 主要从事电力系统分析、混合仿真技术研究与应用 (e-mail) zhangdh_energy@163.com.



XU W H

徐文辉

1972-, 男, 陕西咸阳人, 深圳市南科燃料电池有限公司总经理, 高级工程师, 华北电力大学管理工程系电力技术经济专业学士, 武汉大学工学部机械工程硕士, 原中国广核集团公司新产业投资处处长, 新业务发展负责人, 主要从事常规电力、核能、新能源、氢能、电力储能等能源技术的创新、发展研究及应用推广 (e-mail) xuwenhui@southerntechf.c.com.cn.

门楣

1975-, 男, 陕西汉中, 清华四川能源互联网研究院需求侧管理与响应技术研究所所长, 深圳库博能源科技有限公司董事长, 美国 Texas A & M 大学电力系统及其自动化专业博士, 主要从事电力系统分析、EMS 系统开发及分布式储能的集成与运营 (e-mail) menkun@cubenergy.com.

(责任编辑 郑文棠)