

储能系统综合效益分析

褚晋生¹, 杨晓宇²

¹中广核风电有限公司, 北京

²华北电力大学经济与管理学院, 北京

收稿日期: 2022年4月12日; 录用日期: 2022年5月18日; 发布日期: 2022年5月26日

摘要

储能系统的建设与我国构建清洁低碳、安全高效现代能源体系理念相符, 是构建新型电力系统的重要环节。储能系统的优化规划和运行, 需要对储能系统进行综合的效益分析与评估。本文通过储能系统运行的内部和外部价值及效益进行识别与分析, 建立了一个完整全面多维的储能系统效益综合评价体系。在此基础上, 可以对储能系统的效益进行定量评估, 为储能的部署和运行提供科学依据。

关键词

储能, 效益, 电力系统, 综合价值

Comprehensive Benefit Analysis of Energy Storage Systems

Jinsheng Chu¹, Xiaoyu Yang²

¹CGN Wind Energy Limited, Beijing

²School of Economics and Management, North China Electric Power University, Beijing

Received: Apr. 12th, 2022; accepted: May 18th, 2022; published: May 26th, 2022

Abstract

The construction of energy storage systems is in line with the concept of building a clean, low-carbon, safe and efficient modern energy system in China. It is an important part of building a new type of power system. The optimal planning and operation of the energy storage system requires a comprehensive benefit analysis and assessment of the energy storage system. This paper identifies and analyses the internal and external values and benefits of energy storage system operation, and establishes a complete and comprehensive multi-dimensional comprehensive evaluation system of energy storage system benefits. On this basis, the benefits of energy storage sys-

tems can be quantitatively assessed, providing a scientific basis for the deployment and operation of energy storage.

Keywords

Energy Storage, Benefits, Power Systems, Integrated Value

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

“双碳”目标的提出,明确了能源结构转型的方向,加速新能源如风力发电、太阳能发电等新能源建设。储能作为可再生能源规模化发展的支撑,对“双碳”目标的实现有着重要的推动作用。在常规电力系统、可再生能源发电、分布式发电以及微网、辅助服务等领域,储能系统都起到了巨大的作用[1]。

对于储能系统价值评估的研究,目前以经济性价值测度和环境价值测度两个方面为主。在有关储能系统经济性价值测度研究方面,Vahid-Pakdel等在考虑了储能系统的套利、节约传输费用、延缓机组投资以及降低运维费特点的基础上,建立了一个在开放市场条件下的储能系统经济性评价模型,同时利用遗传算法计算了其能够实现的效益和最佳的配比,但分析中缺乏对环境影响[2]。王再闯和刘成运从储能系统的低储高发以及备用等获得的收益方面,建立了经济效益最大化的目标函数,分别以10 MW的钒电池和70 MWh的钠硫电池为算例,构建了储能系统最佳运行策略的混合整数非线性规划模型,以此为基础计算了储能系统的年收益[3][4]。杨海波等以储能系统的经济收益最大化为目标,构建了电化学储能系统的优化运行和综合经济评价模型,在模型中考虑了人工、建设和维修等成本,以及年运行收入、网损、排放、容量和电价等收益[5]。

有关储能系统环境价值测度研究现状方面,丁捷根据现有的关于储能系统经济性评估与分析方法的研究成果,将电力储能系统价值分为容量型价值和功率型价值,从这两个方面对储能系统进行深入分析[6]。在对电力系统中电力储能容量型价值进行分析时,将储能带来的减少传统能源机组的排放的效益加入其价值计量中。Sanfelix J等基于ISO14040和14044生命周期评价方法对混合储能系统的环境效益进行了测算分析,得出提高储能效率和增加使用寿命能够提高储能系统的环境效益[7]。

当前对于储能系统的价值评估方面,缺乏一个整体、综合、系统性的研究。目前对于储能系统价值评估的研究大多集中于测算储能系统在电力系统中的经济效益,或者分析电力系统中的某一环节储能设置的可靠性。特别是在评估储能系统的效益时,很少考虑到环境等外部效应的影响。实际上,对于储能系统的评估应该从整个系统出发,全面评估其在提高电力系统运行经济性、稳定性及产生的环境效益等方面的综合价值[8]。因此本文通过对储能系统的内部价值和外部价值进行识别和分析,总结了储能系统的内部和外部主体产生价值和收益,从而建立了全方位、多维度的综合效益体系。

2. 储能系统内部效益分析

在未来高比例的可再生能源体系中,储能是重要的基础支撑技术之一。成本效益分析对储能系统项目建设至关重要,系统科学的方法是评估储能系统价值的重要依据。本节主要对储能系统运行的内部价值进行识别与分析。

2.1. 储能系统运营商成本识别

在整个生命周期中, 储能系统的成本包括建设成本、运行维护成本、电池置换成本、设备报废处理成本[9]。本文将从以上几个方面进行对储能系统的成本进行识别和分析。

1) 建设成本

储能系统的建设成本即初始投资成本主要由安装成本和土建成本构成。其内部主要构成如下图 1 所示。

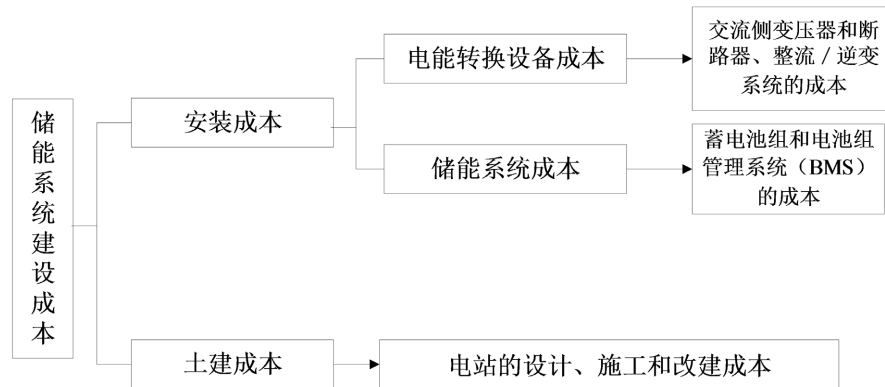


Figure 1. Construction cost composition of energy storage system

图 1. 储能系统建设成本构成

2) 运行维护成本

补偿损失的能量、定期或意外的服务和维护、控制储能充电状态、补偿损失的能量及远程线上监控等所需要的电力成本构成了储能系统的运行维护成本。除此之外, 此成本还包括电池的日和定期的人工维修费用。

3) 置换成本

电池储能的寿命有限, 电池储能需进行更换, 因此储能系统的置换成本主要是电池本体的更换。由于电池的种类丰富, 其单位能量价格、单位功率价格、寿命周期等方面存在差异, 所以置换的成本也不同。

4) 设备报废处理成本

处理寿命结束后的储能设备所需的费用即为储能系统的废弃处置成本, 主要由设备残值和环保费用构成。

2.2. 储能系统运营商收益识别

储能系统的内部收益主要包括自身运行效益和辅助服务的效益。本文从这两个方面对储能系统的内部效益进行识别分析。

1) 运行效益

储能系统的运行效益主要体现在储能运营商“低储高发”得到的经济效益上。在不同的应用场景下, “低储高发”所获得的经济效益是不一样的。

a) 分时电价管理

在电力系统的运行过程中, 其负荷总量会产生高峰、平段、低谷等多种情况, 根据这种变化特征, 将 24 小时分为几个时段, 对高峰、低谷等时段实行分时电价。分时电价管理是指消费者根据零售价制定

的电力调度方案, 将高电价时段的电力需求向低电价时段转移, 从而使整体电价水平下降。分时电价的收入主要来自于电价差异和电力规划的调整, 这就是在峰时采用谷时的电能, 利用峰谷电价差异来节约电费。

b) 提高供电可靠性

当出现断电事故时, 储能系统可以将储存的电能提供给用户, 从而避免了在检修期间无法提供电力的情况, 从而增加了供电的可靠性。电力供应对电力用户产生的价值是保证供电可靠性的收益的一部分, 此外停电损失的赔偿也是改善供电可靠性收益的一项重要内容。

2) 辅助服务效益

电力市场中的辅助服务包括调峰、调频、调压和备用等, 以保障电网的供电品质, 保障电网的正常运营。其中, 调峰、调频和备用是 3 类最主要的辅助服务。

a) 调频

调频辅助服务主要分为一次调频和二次调频。在中国的电力辅助服务市场中, 并网发电站必须提供一次调频的服务, 其并不能从电力市场中获得盈利[10]。二次调频(AGC 辅助服务)是根据不同地区的电力系统的辅助服务实施细则来计算的。在电力系统中, 储能技术的一个重要应用就是通过与火电机组共同参与电网调频等相关的辅助业务, 从而获取相应的调频补偿收入。目前, 在所有发电单元中, 调频里程补偿系数最高的是火电。采用储能调频技术后, 火力发电厂的调频效益将得到显著提高。储能调频主要由独立的运营商负责。目前, 火力发电的储能系统调频服务, 一般是由独立的运营商提供资金并经营, 火力发电厂负责选址、接入, 双方根据约定的比例分配调频收入。

b) 调峰

调峰辅助服务主要分为基本调峰和有偿调峰。并网发电机组必须提供基本调峰的辅助服务。发电机组要在规定的出力范围内免费提供此项服务。有偿调峰是指机组按电力调度指令进行的超过基本调峰范围的深度调峰, 以及发电机组启停机调峰(即机组在停机 24 小时内再度开启发电的调峰方式)。

c) 备用容量

备用容量指的是电力系统除满足预计负荷需求外, 在发生事故时, 为保障电能质量和系统安全稳定运行而预留的有功功率储备。储能系统为电网提供了备用容量的辅助服务。储能提供备用服务时, 可以提供两倍于其额定容量的调节容量。除此之外, 还可以提供削峰填谷、调频、延迟输配线路升级等服务。

3. 储能系统外部效益分析

储能系统可以将能源系统中的各个环节连接起来, 可以在电网、电源、用户等多种场景中得到广泛的应用。同时, 储能系统具有显著的外部性, 储能服务所产生的收益也分散于各个主体, 在不同的主体都有体现。

结合储能系统在电力系统中的应用和作用的相关主体, 可将其外部相关主体分为政府、发电企业、输电及配电企业、电力用户四部分, 影响方式如图 2 所示。本节主要对储能系统外部相关主体进行识别与分析。

3.1. 政府

对于政府这一主体来说, 储能系统对其正外部性主要是产生了一定的环境效益。储能系统的应用可以提高可再生能源并网能力, 促进可再生能源的使用。随着风电、光伏等可再生能源上网发电量的增加, 相应地会减少一部分传统火力的发电量, 因此, 传统的火电发电所消耗的化石能源也会随之降低。同时, 储能系统可以平缓传统化石能源发电机组出力曲线, 减少机组启停次数, 进而提高化石燃料燃烧效率。

从这两个方面来看, 储能系统可以有效地降低燃煤电厂的大气污染, 降低对环境的不利影响。

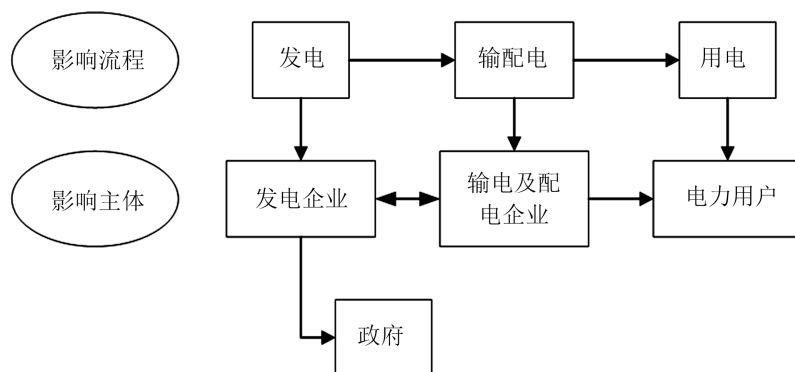


Figure 2. The way in which the energy storage system affects its external related subjects

图 2. 储能系统对其外部相关主体的影响方式

3.2. 发电企业

对于发电企业来说, 储能系统能够为发电提供辅助服务, 从而使机组的出力平稳, 进而使机组的运行更具经济性和效率。随着风电、光伏等可再生能源并网发电规模的日益扩大, 对电力系统的安全、稳定运行和供电品质造成了严重的不利影响。为了确保这种可再生能源的可靠运行, 必须要配备足够的储能设备建设, 这样可以对可再生能源发电产生缓冲作用, 从而增加风力和光伏发电的并网比例, 增加可再生能源的调节能力, 增加其在当地的消纳和输送能力, 极大地促进了可再生能源的利用率。

3.3. 输电及配电企业

对于电网公司来说, 与储能系统的结合可以改善电能的输送能力。比如, 电网公司适当配置一定容量的储能设备或将其与某些电力电子设备结合起来, 既可以降低输电线路的损耗, 又可以有效地减轻系统的震动, 同时也能确保电网的安全、稳定、可靠, 从而降低或延迟投资建设所需的成本, 从而取得巨大的经济效益。

3.4. 电力用户

在电力输送过程中, 可以根据不同的储能特性, 对相应的储能参数进行调整, 从而降低电压的波动和闪变, 从而防止系统中的电压跌落、暂升, 从而提高电力供应的质量, 提高电力的可靠性。针对某些负荷敏感的客户, 采用储能装置作为不间断电源, 可以确保电力供应的连续性。另外, 在利用储能系统时, 当电网中的电量达到峰值时, 由于现有峰谷电价差异, 可以产生一定的经济效益, 从而降低未来电网运行中的价格波动对电网自身的影响。

4. 储能效益分类和储能综合效益体系的建立

通过以上对储能系统的内部、外部的效益进行识别与分析, 通过储能系统的基础功能与作用, 总结出了储能系统内部和外部各主体的效益指标, 进而本文构建了一个多维度的储能系统综合效益体系, 如表 1 所示。储能系统主要通过其调峰、调频等功能为各主体带来一定的经济收益, 在环境方面则通过促进可再生能源的并网带来一定的减排效益。本文构建的储能综合效益体系, 将为储能系统的规划建设以及运营管理提供科学的依据, 进而提高储能规划及运营水平, 有利于储能系统未来的发展。

Table 1. Comprehensive benefit system of energy storage system
表 1. 储能系统综合效益体系

内外部性	主体	储能功能/作用	储能效益
内部	运营商	分时电价管理	谷峰差价效益
		提高供电可靠性	电力可靠性效益
		调频	调频效益
		调峰	调峰效益
		保障电能质量和系统安全	备用容量效益
外部	政府	促进可再生能源并网	低碳减排效益
	发电企业	提高发电可靠性、可再生能源利用率	辅助服务效益
	电网公司	改善电能的输送能力, 减少投资新建线路	降低线损效益
	电力用户	提高电力的可靠性	电力可靠性效益
		分时电价节省用户电费	谷峰差价效益

5. 结论

本文从储能系统内部和外部两个方面, 通过识别效益主体对储能系统的综合效益进行分析, 总结了储能系统运行产生的经济价值和收益模式, 构建了一个多维度的储能系统综合效益体系。该体系的建立, 将为我国储能系统的规划、建设、运行和管理提供科学的基础, 对我国储能系统的规划和运行具有重要的指导意义, 有利于促进储能利用和发展。本文的主要结论如下。

1) 储能系统运行的内部效益主要体现在自身运行效益和辅助服务效益这两个方面。在自身运行方面, 其主要通过“低储高发”来获得经济效益。在辅助服务方面, 调峰、调频和备用容量是主要产生效益的三类服务。

2) 储能系统运行的外部效益主要通过政府、发电企业、输电及配电企业、电力用户这四个外部主体来体现。对于政府这一主体, 储能系统促进了节能减排, 带来了一定的环境效益。从发电企业来看, 储能系统促进可再生能源消纳, 为发电领域提供的辅助服务可以产生一定的效益。对输电及配电企业而言, 储能系统可以降低线损, 改善电能输送, 促进电网稳定, 进而减少新建线路产生的费用, 获得经济效益。对于电力用户来说, 提高了其用电可靠性, 谷峰的电差价为电力用户带来效益。

基金项目

中广核风电有限公司储能系统政策机制研究及综合价值评估分析项目支持。

参考文献

- [1] 刘畅, 徐玉杰, 张静, 等. 储能经济性研究进展[J]. 储能科学与技术, 2017, 6(5): 1084-1093.
- [2] Vahid-Pakdel, M.J., Nojavan, S., Mohammadi-Ivatloo, B. and Zare, K. (2017) Stochastic Optimization of Energy Hub Operation with Consideration of Thermal Energy Market and Demand Response. *Energy Conversion and Management*, **145**, 117-128. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.04.074>
- [3] 王再闯, 袁铁江, 李永东, 等. 基于储能电站提高风电消纳能力的电源规划研究[J]. 可再生能源, 2014, 32(7): 954-960.
- [4] 刘成运, 孟超, 景锐, 等. A 级数据中心综合能源系统多目标优化设计和调度[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(14): 136-142.
- [5] 杨海波, 谢宁, 白荣静. 智能电网环境下的储能装置经济评价模型研究[J]. 电气应用, 2017, 36(6): 50-55.

- [6] 丁捷. 电力储能经济性分析与综合评价方法研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国科学院大学(中国科学院工程热物理研究所), 2020.
- [7] Sanf elix, J., Messagie, M., Omar, N., *et al.* (2015) Environmental Performance of Advanced Hybrid Energy Storage Systems for Electric Vehicle Applications. *Applied Energy*, **137**, 925-930.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.07.012>
- [8] 孙伟卿, 裴亮, 向威, 等. 电力系统中储能的系统价值评估方法[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(8): 47-55.
- [9] 薛金花, 叶季蕾, 陶琼, 等. 采用全寿命周期成本模型的用户侧电池储能经济可行性研究[J]. 电网技术, 2016, 40(8): 2471-2476.
- [10] 孙钢虎, 王小辉, 陈远志, 等. 储能联合发电机组调频经济效益分析[J]. 电源学报, 2020, 18(4): 151-156.