

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.03.008

分布式储能项目效益评价方法研究

焦丰顺¹, 任畅翔², 李志铿²

(1. 深圳供电局有限公司, 深圳市 518033; 2. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: [目的]随着分布式储能技术的日趋成熟, 分布式储能系统得到了业界的广泛关注, 各类示范项目先后投运。然而, 用户侧分布式储能项目的综合效益往往涉及投资方、运营方、用户和监管部分等多个参与方, 且与用户的负荷特性和储能系统运行策略密切相关, 科学合理且便捷的综合效益评估方法已经成为分布式储能项目广泛开展的关键技术问题。[方法]根据分布式储能项目的设备和资产构成, 并结合用户负荷曲线划分多个典型运行场景, 从而对不同场景下各类项目资产的成本、功能、效益、相关方进行映射, 最终按照项目的内部运作机制和外部市场机制分析其综合效益。[结果]利用该方法, 可对种类更广泛的分布式储能项目进行更加定量、客观的综合效益评估。[结论]基于实际的工程算例表明, 所提的方法准确有效, 为项目投资运营模式及技术方案决策提供方法支持。

关键词: 分布式储能; 综合效益; 经济评价

中图分类号: TK01; TK02

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2019)03-0048-06

Research on Benefit Evaluation Method of Distributed Energy Storage System

JIAO Fengshun¹, REN Changxiang², LI Zhikeng²

(1. Shenzhen Power Supply Co., Ltd., Shenzhen 518033, China;

2. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: [Introduction] With the increasing maturity of distributed energy storage technology, distributed energy storage systems have received extensive attention in the industry, and various demonstration projects have been put into operation. However, the comprehensive benefits of user-side distributed energy storage projects often involve multiple parties such as investors, operators, users and regulatory parts, and are closely related to the user's load characteristics and energy storage system operation strategy, scientific and reasonable and convenient. The comprehensive benefit assessment method has become a key technical issue for a wide range of distributed energy storage projects. [Method] According to the equipment and assets of distributed energy storage projects, this paper combined the user load curve to divide multiple typical operation scenarios, so as to map the cost, function, benefit and related parties of various project assets in different scenarios. Its comprehensive efficiency and benefits were analyzed according to the internal operation mechanism of the project and the external market mechanism. [Results] Using this method, a more quantitative and objective comprehensive benefit evaluation can be carried out for a wider range of distributed energy storage projects. [Conclusion] Based on practical engineering examples, the proposed method is accurate and effective, and provides method support for project investment operation mode and technical solution decision-making.

Key words: distributed energy storage; comprehensive benefits; economic evaluation

目前, 由于分布式储能技术的日趋成熟, 以及其在削峰填谷、提高可再生能源消纳能力, 以及提高电网设备利用效率方面的优势, 分布式电池储能

系统(Battery Energy Storage System, BESS)得到业界的广泛关注。与此同时, 在电力体制改革的背景下, 社会资本参与增量配电投资, 使用户侧的分布式储能系统成为电力系统中直面社会竞争的环节, 各类试点示范项目相继投运。然而, 目前国内的试点项目普遍存在片面追求规模效应的情况, 忽略了有效资产和技术经济性, 严重影响了这些项目的可

收稿日期: 2018-11-06 修回日期: 2019-09-01

基金项目: 中国能建广东院科技项目“广东省智能电网装备产业技术创新联盟建设示范”(ER04581W)

推广性。

为此,必须制定一套适用于分布式储能项目的综合效益评估体系和评价方法,从经济、社会效益、技术等方面进行综合效益进行评估,从而既可辅助投资者的决策,亦可对建设中及已建成项目做事后评价,为项目后续建设优化与经验推广提供有效支撑。

目前,国内外主要从经济效益、节能效益、环境效益、社会效益等方面开展项目的综合效益。文献[1]分析了智能电网项目中不同相关方的经济效益,但尚未考虑储能系统的运行方式及相关的投资和成本。文献[2-4]研究了智能电网的项目投资方式和建设模式对供电企业的主要影响,主要包括投资、运行、维护和设备折旧等方面的成本以及用户参与需求响应的收益,但并未涉及环保和节能等方面的社会效益。文献[5]提出了智能电网项目效益的评价方法QPA。该方法对智能配电网各组成元素的功能和效益进行量化分析,构建了智能配电网的成本效益模型,以此评估经济效益和环境效益,但其以增量分析为主,对新建智能配电网效益分析适用性不强,且效益评价未区分相关方,无法给各方做决策。

为此,本文针对QPA方法的不足,着重从环境影响、社会影响和产业影响等方面,区分利益相关方及远近期效益,并结合定量分析与定性分析,实现可靠性、技术经济和社会环保等不同方面效益的综合评价,从而对分布式储能项目的综合效益进行多维度的全面评价。

1 分布式电池储能系统典型结构

1.1 系统组成

在实际工程中,通常将BESS分为电池、换流器、电池管理系统和监控系统等4个部分,并通过将其进行封装和集成,使其达到一定的安全防护等级,从而满足复杂和恶劣户外环境下持续运行的需求。

1.2 基本分类

根据功率等级及放电持续时间,BESS大致能分为低压小容量、中压大容量和高压超大容量3种。

1) 低压小容量 BESS

一般直接接入400 V交流电网中,额定功率通

常在500 kW及其以下,可放电持续时间一般不超过4 h,常用于低压微网电源、后备电源、电能质量治理、小型可再生能源并网等场合。

2) 中压大容量 BESS

将多个模块化BESS并联后再经升压设备接入中压配电网,其额定功率通常在10 MW及其以下,可放电持续时间一般不超过4 h,可用于较大负荷的削峰填谷、备用电源,以及中压微电网的稳定控制和能量调度等场合。

3) 高压超大容量 BESS

额定功率在10 MW以上,其放电持续时间可达6 h,一般接入高压配电网,适用于削峰填谷、调峰调频电源及大型可再生能源并网等场合。

2 分布式电池储能项目的效益组成

2.1 辅助动态运行收益

动态运行是指为了保证负荷和发电之间实时保持平衡,需要火电机组的输出根据调度的要求进行调整,而不是恒定地工作在额定输出状态。

BESS能够与火电机组进行协调运行,按照调度要求动态调整火电机组出力,并使其工作在接近经济运行状态下,提高机组的热效率减少碳排放。储能系统的应用能够减少动态运行对机组的损害,减少设备维护和更换设备的费用。

2.2 平抑间歇性可再生能源出力

BESS的快速响应特性能够提高可再生能源的可调度性,提高电网对可再生能源的消纳能力,减少电力系统备用机组容量。

2.3 辅助服务收益

1) 调频

频率是电能质量的关键指标之一,反映了有功功率和负荷之间的平衡关系。当系统中原动机的功率和负荷功率发生偏差时,系统频率随之发生变化。频率的偏差不利于用电和发电设备的安全、高效运行,甚至损害设备。BESS能够快速平衡有功功率和负荷,从而提高系统的调频能力。

2) 调峰

电力系统发、输、配等环节的设备选型均必须满足高峰负荷的需求,实现电力生产、传输和消费的平衡。然而,由于高峰负荷仅在某一个较短的时段出线,在全年大部分时间中上述设备容量均处于冗余状态。因此,通过BESS降低系统的高峰负

荷,能够一定程度上降低电力系统的设备容量,从而减少或延缓建设投资。

3) 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。备用容量可以随时被调用,并且输出负荷可调。通常来说,电力系统中的备用容量应该等于系统正常电力供应容量的15%~20%,但最小值应该等于系统中单机装机最大的机组容量。

2.4 用户低充高放收益

目前,电网企业对特定用户采取分时电价,即将全天划分为高峰、平段和低谷等多个时段,每个时段对应不同的电价。因此,利用 BESS,用户可以根据用电情况,在低谷时段充电、高峰时段放电,从而将峰期的电力需求转移到电价较低的时段,从而达到降低电费成本。

2.5 降低容量费用

目前,在电网企业的电价政策中,向部分工商业用户收取电费包括基本电费和电度电费两部分。其中,基本电费是指按用户的最大用电功率或报装容量计价,电度电费则是按用户所用度数计费。因此,通过 BESS 的应用,部分工商业用户可以降低其最大用电功率或报装容量,从而减少基本电费成本。

2.6 提高供电可靠性

BESS 能够作为备用电源,在外部电网故障时维持供电,从而提高用户供电可靠性。

2.7 延缓电网建设投资

BESS 在延缓电网建设投资方面的收益主要体现在两方面。一方面是 BESS 在低谷充电、高峰放电,实际上相当于降低了电网的最高负荷,从而降低了电网一次性投资。另一方面,由于 BESS 保障了用户的供电可靠性,在某些情况下可减少为了提高用户供电可靠性而投入的电网建设成本。

3 成本与效益计算方法

3.1 效益计算方法

分布式储能项目根据应用场景不同,分为用户侧储能,电网侧储能以及发电侧储能。不同场景下的投资方,电网和社会三大类主体的综合成本效益有较大差别。不同场景下的效益计算如表 1

所示。

表 1 用户侧储能,电网侧储能及发电侧储能效益分析

Tab. 1 Benefit analysis on different type of DESS

储能类型	投资方	电网	社会	
用户侧储能	效益	1) 低充高放收益; 2) 基本电费和电度电费节省收益; 3) 减少停电损失。	1) 削峰填谷收益; 2) 充放电损耗收益; 3) 高可靠性输电收益; 4) 减少保供电投资。	减少停电社会损失
	成本	1) 投资成本; 2) 运维成本。	高峰期售电减少	充放电损耗社会成本
电网侧储能	效益	1) 辅助服务收益; 2) 需求侧响应收益。	削峰填谷收益	—
	成本	1) 投资成本; 2) 运维成本。	—	充放电损耗社会成本
发电侧储能	效益	1) 辅助服务收益; 2) 快速响应调度调峰调频,提高设备利用小时数。	—	新能源消纳提升
	成本	1) 投资成本; 2) 运维成本。	—	—

3.1.1 用户侧储能效益分析

用户侧储能涉及的利益相关方较多,主要效益类型,效益主体和年效益计算方法如表 2 所示。

表 2 BESS 在用户侧的效益计算方法

Tab. 2 Calculation of benefit analysis on user-side DESS

效益类型	计算方法	效益主体
储能高充低放收益	储能高放电量 × 高放电价 - 储能低充电量 × 低充电价	投资方
基本电费和电度电费节省收益	根据各地电价政策	投资方
减少停电损失	停电时间 × 单位小时产值	投资方
削峰填谷收益	削减高峰期负荷 × 单位容量输变电成本/项目运营期	电网
减少保供电投资	保供电负荷 × 单位容量输变电成本/项目运营期	电网
提高供电可靠性收益(电网)	停电时间减少 × 供电负荷 × 调整系数 × 充电侧输配电价	电网
减少社会停电损失(用户 & 社会)	停电时间减少 × 供电负荷 × 调整系数 × 单位 GDP 电量	用户, 社会
充放电损耗增加电网收益	(储能充电量 - 储能售电量) × 储能充电侧输配电价	电网

3.1.2 电网侧储能效益分析

电网侧储能主要用于电网辅助服务以及削峰填谷延缓电网投资,储能参与辅助服务的市场的价格可依据 2017 年底出台南方区域《两个细则》测算,如表 3 所示。

表 3 BESS 在电网侧的效益计算方法

Tab. 3 Calculation of benefit analysis on grid-side DESS

效益类型	计算方法	效益主体
辅助服务 (调峰调频) 收益	参考南方区域《两个细则》计算	投资方
需求侧响应收益	参考南方区域《两个细则》计算	投资方
削峰填谷收益	削减高峰期负荷 × 单位容量输变电成本 / 项目运营期	电网

3.1.3 发电侧储能成本效益分析

发电侧储能主要应用于发电厂及新能源电厂, 主要用于调节发电厂出力, 提高设备利用小时数, 如表 4 所示。

表 4 BESS 在发电侧的效益计算方法

Tab. 4 Calculation of benefit analysis on source-side DESS

效益类型	计算方法	效益主体
辅助服务 (调峰调频) 收益	参考南方区域《两个细则》计算	投资方
快速响应调度调峰调频, 提高设备利用小时数	设备利用小时数提升量 × 装机容量 × 上网电价	投资方
新能源消纳提升环境效益	度电新能源环境价值 × 新能源消纳提升量	社会

3.2 成本计算方法

储能成本主要包括投资方、电网和社会成本, 其中, 投资成本及运维成本由投资方承担, 用户侧储能会减少电网的高峰售电收益, 同时充放电的损耗将会带来少量社会成本。用户侧、电网侧及发电侧的成本分析如下所示。

3.2.1 用户侧储能成本分析

用户侧储能成本分析如表 5 所示。

表 5 BESS 在用户侧的年成本

Tab. 5 Calculation of cost on user-side DESS

成本类型	计算方法	成本主体
投资成本	取项目动态总投资	投资方
运维成本	储能项目运维费率 × 储能项目总投资	投资方
充放电损耗	(储能充电量 - 储能售电量) × 度电	社会
社会成本	污染物排放价值	
高峰期售电减少	储能高峰期放电量 × 高峰期电价	电网

3.2.2 电网侧储能效益分析

电网侧的储能投资运维成本由电网方承担, 其构成如表 6 所示。

表 6 BESS 在电网侧的年成本

Tab. 6 Calculation of cost on grid-side DESS

成本类型	计算方法	成本主体
投资成本	取项目动态总投资	投资方
运维成本	储能项目运维费率 × 储能项目总投资	投资方
充放电损耗	(储能充电量 - 储能售电量) ×	
社会成本	度电污染物排放价值	社会

3.2.3 发电侧储能效益分析

发电侧的储能投资运维成本包括投资和运维成本, 其构成如表 7 所示。

表 7 BESS 在发电侧的年成本

Tab. 7 Calculation of cost on source-side DESS

成本类型	计算方法	成本主体
投资成本	取项目动态总投资	投资方
运维成本	储能项目运维费率 × 储能项目总投资	投资方

4 算例分析

4.1 概况

以深圳大鹏新区某分布式储能工程投资为例进行验证。用户在最大负荷日的负荷和电量曲线如图 1 所示。

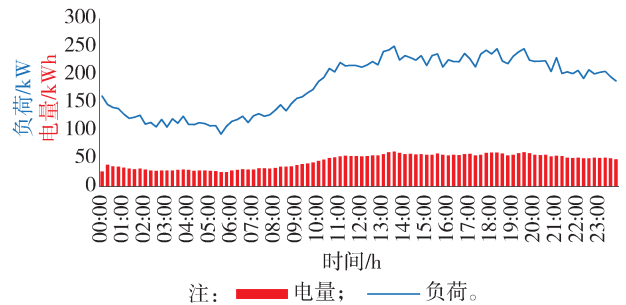


图 1 用户典型日最大有功功率和电量曲线 (2017 年)

Fig. 1 Typical daily maximum active power and electricity curve in 2017

根据深圳的峰平谷时段划分, 各时段的电量情况如表 8 所示。

表 8 各时段用电情况

Tab. 8 Calculation of cost on source-side DESS

时段	电量/kWh
谷时电量	1 060
峰时电量	1 655
第一个峰	519
第二个峰	625
第三个峰	512
平时电量	1 626

4.2 效益分析

4.2.1 高充低放收益

利用储能微电网，在谷时和平时充电、高峰放电。假设储能低充高放有以下三种场景：

1) 场景 A：用电量大气季节满充满放，谷期满充，峰期放电 100%，平段满充，峰期放电 100%。

2) 情景 B：用电量中等季节谷期满充，峰期放电 70%，平段补电 40%。

3) 情景 C：用电量小季节谷期满充，峰期放电 50%，平段补电 0%。

不同场景的收益表分析如表 9 所示。

考虑到年度 4% 的容量衰减，2018—2028 年合计收益 260 万元，分年度情况如表 10 所示。

表 9 不同场景的收益表分析

Tab. 9 Photovoltaic power generation project daily income analysis

统计项	峰期	谷	平	合计
放电量/kW	1 800	0	0	1 800
充电量/kW	0	1 000	1 000	2 000
购电价/元	1.031 6	0.235 1	0.679 1	—
售电价/元	1.031 6	0.235 1	0.679 1	—
日收益/元	1 856.88	-235.1	-679.1	942.68
放电量/kW	1260	0	0	1 260
充电量/kW	0	1 000	400	1 400
购电价/元	1.031 6	0.235 1	0.679 1	—
售电价/元	1.031 6	0.235 1	0.679 1	—
日收益/元	1 299.82	-235.1	-271.64	793.076
放电量/kW	900	0	0	900
充电量/kW	0	1 000	0	1 000
购电价/元	1.031 6	0.235 1	0.679 1	—
售电价/元	1.031 6	0.235 1	0.679 1	—
日收益/元	928.44	-235.1	0	693.34

表 10 项目年收益表分析

Tab. 10 Income statement analysis for 2018—2028

年度	2018	2019	2020	2021	2022	2023
收益/万元	0	30.04	28.84	27.64	26.44	25.24
年度	2024	2025	2026	2027	2028	—
收益/万元	24.04	22.83	21.63	20.43	19.23	—

4.2.2 可靠性收益

由于储能建设，供电区域可靠性增加，停电时间减少，可靠性供电收益一方面考虑多供电量带来的输配电效益，另一方面考虑多供电量带来的储能收益，可分别由下式得出：

$$B_G = \Delta Q \times (P_1 + \Delta P) \quad (1)$$

$$B_u = \Delta Q \times G_{DP} \quad (2)$$

式中： B_G 为电网侧可靠性收益； B_u 为用户侧可靠性收益； ΔQ 为增供电量； P_1 为输配电价； ΔP 为低充高放电价差； G_{DP} 为单位电量 G_{DP} 。

储能项目投产后，年停电时间减少 25 h/户，供电区域平均负荷为 120 kW，因此多供电量为 1.320 MWh，项目周期内增收电费 0.13 万元/年，各年度可靠性收益如表 11 所示。

表 11 2018—2028 年可靠性收益

Tab. 11 Income statement analysis for 2018—2028

年度	2018	2019	2020	2021	2022—2028	合计
可靠性收益/万元	0	0.13	0.13	0.13	0.13	1.17

4.2.3 减少输变电投资效益

储能项目在低谷充电，高峰放电，可降低最高负荷 40 kW，深圳地区平均单位容量成本为 4 500 元/kW，电网一次性投资减少约为 36.00 万元。摊分到 10 年约为 3.6 万元/年。

4.2.4 减少可靠性线路投资

由于用户位于线路末端，为提高用户供电可靠性，按常规完善配电网架的技术方案需投资 1 400 万元。通过分布式储能系统在外电网故障时为用户提供应急电源，相当于减少可靠性线路投资 1 400 万元，考虑线路折旧年限为 30 年，项目周期内可靠性线路投减少 46.67 万元/年。

4.2.5 充放电损耗增加电网收益

可根据储能系统充电量、售电量计算充电点损耗增加电网收益，如下式所示：

$$B_r = (Q_1 + Q_2) \times P_1 \quad (3)$$

式中： Q_1 和 Q_2 分别为储能充电量和储能售电量。

本工程中，储能系统的年度充放电电量分别为 505 MWh 和 555 MWh，因此 2018—2028 年充放电损耗增加电网收益为 0.893 万元。

4.3 项目整体效益评价

综合上述分析，本算例各项收益如表 12 所示：

表 12 项目整体收益分析

Tab. 12 Total Income statement analysis

名称	效益值
理论供电可靠性提升	减少用户故障停电 25 h/年
可靠性收益	增供电量为 1 320 kWh/年，增收电费 0.13 万/年

表 12(续) 项目整体收益分析
Tab. 12(Cont.) Total Income statement analysis

名称	效益值
削峰填谷经济收益	30.04 万元/年
延缓电网建设投资	50.27 万元/年
光伏发电	0.43 万元/年
电动汽车充电	2.48 万元/年
投资估算	609.25 万

根据我国现行的法律、法规、财税制度和电价政策,并结合国家发展改革委和建设部 2006 年联合发布的《建设项目经济评价方法与参数(第三版)》。国务院《关于固定资产投资项目试行资本金制度的通知》(国发[1996]35 号),项目全投资税后内部收益率为 5.90%,净现值为 -24.05 万元,投资回收期为 8.57 年;资本金税后内部收益率为 7.85%,净现值为 6.67 万元,投资回收期为 9.99 年,达到了 7% 以上的基准收益率,项目财务效益较好。

5 结论

目前,利用智能电网技术提高电网建设的技术经济性,已经成为智能电网可持续发展的关键,尤其分布式储能系统项目,由于设备造价较高,对项目投资方的经济效益分析是此类项目得以实施和推广的前提。

用户侧分布式储能项目的综合效益往往涉及投资方、运营方、用户和监管部分等多个参与方,且与用户的负荷特性和储能系统运行策略密切相关,科学合理且便捷的综合效益评估方法已经成为分布式储能项目广泛开展的关键技术问题。

本文在分析不同类型分布式储能系统效益和成本组成的基础上,结合用户负荷曲线划分多个典型运行场景,对不同场景下各类项目资产的成本、功能、效益、相关方进行映射,最终按照项目的内部运作机制和外部市场机制分析其综合效益效益。实际算例的计算分析表明,本文所提出的综合效益评价方法准确有效,为分布式电池储能项目投资运营模式及技术方案的决策提供方法支持。

参考文献:

- [1] 李兴源,魏巍,王渝红,等. 坚强智能电网发展技术的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(17): 1-7.
LI X Y, WEI W, WANG Y H, et al. Study on the development and technology of strong smart grid [J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(17): 1-7.
- [2] 王智冬,李晖,李隽,等. 智能电网的评估指标体系[J]. 电网技术, 2009, 33(17): 14-18.
WANG Z D, LI H, LI J, et al. Assessment index system for smart grids [J]. Power System Technology, 2009, 33(17): 14-18.
- [3] 曾鸣,李凌云,马明娟,等. 基于区间数的智能电网经济效益评价研究[J]. 华东电力, 2013, 41(2): 249-253.
ZENG M, LI L Y, MA M J, et al. Economic benefits evaluation of smart grid based on interval numbers [J]. East China Electric Power, 2013, 41(2): 249-253.
- [4] 刘跃新,熊浩清,罗汉武. 智能电网成本效益分析及测算模型研究[J]. 华东电力, 2010, 38(6): 821-823.
LIU Y X, XIONG H Q, LUO H W. Cost-benefit analysis and evaluation model of smart grid [J]. East China Electric Power, 2010, 38(6): 821-823.
- [5] 焦丰顺,张劲松,唐晟,等. 智能配电网项目综合效益分析评价方法研究[J]. 南方能源建设, 2017, 4(1): 134-137.
JIAO F S, ZHANG J S, TANG S, et al. Research on comprehensive benefits evaluation of smart distribution grid [J]. Southern Energy Construction, 2017, 4(1): 134-137.

作者简介:



JIAO F S

焦丰顺(通信作者)
1984-,男,吉林双辽人,工程师,博士,主要从事电网规划和能源互联网研究工作(e-mail)497940490@qq.com。

任畅翔

1989-,女,湖南益阳人,硕士,主要从事电网经济咨询工作(email)renchangxiang@gedi.com.cn。

李志铿

1981-,男,广东顺德人,高级工程师,博士,主要从事配电网规划、设计和运行分析研究工作(e-mail)lizhikeng@gedi.com.cn。

(责任编辑 郑文棠)