

微电网中电池储能系统的容量优化配置方法研究

伦振坚, 胡轲, 郭金川, 郭芳

(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: 储能技术作为微电网中的重要元件, 其容量配置的合理性严重影响微电网的运行性能和经济效益。本文主要针对提供短时供电、电力调峰及热备用、分布式电源发电功率平滑等三种用途, 提出了根据储能系统在微电网中的主要作用, 结合项目对供电可靠性、电能质量的要求以及蓄电池运行状况等, 灵活配置电池储能系统容量的优化计算方法, 为微电网工程设计提供了理论基础。

关键词: 微电网; 电池储能; 容量优化

中图分类号: TM73

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2015)S1-0005-05

Research on BESS Capacity Optimization Methods in Micro-grid

LUN Zhenjian, HU Ke, GUO Jinchuan, GUO Fang

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

Abstract: Energy storage technology, as an important element of the micro-grid, the rationality of its capacity configuration seriously impacts the operation performance and economy benefit of the micro-grid. This paper mainly focus on three purposes: Short-time power supply, Electric peak regulation & hot standby and Distributed generation power smoothing. And it proposed according to the main effect of BESS in micro-grid, with considering the requirement of the project on power supply reliability and power quality, and the operating condition of the battery, optimization calculation method on flexibly configuring BESS capacity, which provided theoretical basis of micro-grid project design.

Key words: micro-grid; BESS; capacity optimization

微电网是以分布式发电技术为基础, 以靠近分散型能源或用户的小型电站为主体, 结合终端用户电能质量管理和能源梯级利用技术形成的小型模块化、分散式的供能网络。微电网可孤岛运行, 也可并网运行。目前, 微电网已成为解决电力系统安全稳定问题, 实现能源多元化和高效利用的重要技术手段。由于微电网中采用大量电力电子设备作为接口, 其系统惯性小或无惯性、过载能力差、以及采用可再生能源发电的分布式电源输出电能的间歇性和负载功率的多变性增加了微电网频率和电压控制的难度。储能技术作为保证供电质量和分布式发电系统效率的有效途径, 已经成为促进可再生能源应

用和提高输配电系统电能质量的重要手段^[1]。文献[2]利用电池储能系统来解决诸如电压骤降等电能质量问题; 文献[3]利用电池储能系统调节功率, 同时利用冗余容量治理微电网中存在的谐波, 提高电能质量; 文献[4]利用电池储能系统快速补偿系统电压波动, 用以平抑投切不同电力负荷对微电网系统造成的影响。本文主要针对提供短时供电、电力调峰及热备用、分布式电源发电功率平滑等三种用途, 研究微电网中电池储能系统的容量优化配置方法, 为微电网工程项目中储能系统的容量配置问题提供理论基础。

1 蓄电池储能系统的特性分析

蓄电池储能系统(Battery Storage)由电池、直-交逆变器、控制装置和辅助设备(安全、环境保护设备)等组成, 通过电能与储存于电池中的化学能之间的转换, 实现能量的存储/释放, 是一种效率较高的储能方式。其技术相对成熟, 维护比较简

收稿日期: 2015-10-01

基金项目: 中国能建广东院级科标项目资助(智能微电网规划设计试验研究: EV00691W)

作者简介: 伦振坚(1975), 男, 广东广州人, 高级工程师, 硕士, 主要从事交流工程设计和继电保护研究的工作(e-mail) lunzhenjian@gedi.com.cn。

单,在国内现有的微电网项目中得到广泛应用。根据所使用化学物质的不同,蓄电池可以分为铅酸电池、钠硫电池、锂离子电池、液流电池等。现阶段国内应用主要以铅酸电池和锂离子电池为主。铅酸电池研究历史悠久,技术成熟。其技术优势在于选址容易,花费较少,并可形成数兆瓦级组件以实现负载均衡和电网稳定,已在浙江东福山岛、珠海东澳岛等海岛微电网项目中广泛应用。锂离子电池的优势在于储能密度高、储能效率高、使用寿命长、热效应小。目前锂离子电池已经在空间飞行器储能、动力电池、小型设备电源等方面得到广泛应用^[5],并在南网宝清储能电站、国网张北储能电站,都使用的大量的锂电池。然而不论是铅酸电池还是锂离子电池,都存在充电电压不可过高、放电电压不可过低以及快速充放电、深充深放会严重影响使用寿命等问题。因此,为提高电池使用寿命,需对电池的荷电状态、充放电电流以及端口电压做一定的限制。

1) 荷电状态 SOC 限制

SOC 是用来标称当前电池容量的状态参数,可定义为当前电量与以恒定电流满充状态下的电量的比值。即:

$$SOC = 1 - Q_1 / Q \quad (1)$$

式中: Q_1 表示已放出的电量; Q 表示基准容量;而放出的电量可以用电流与时间的积分来表示:

$$Q_1 = \int idt \quad (2)$$

式中: i 为正时表示放电; i 为负时表示充电。

SOC 可反映蓄电池的充放电深度,为保证蓄电池的正常运行并延长其使用寿命,一般电池厂家推荐 SOC 的运行范围为:

$$20\% \leq SOC \leq 90\% \quad (3)$$

2) 充放电电流限制

高倍率充放电对电池的使用寿命有较大影响,在电池运行过程中,需对电池的充放电电流进行一定的限制,以保护电池,提高其使用寿命。设电池的充电限制电流为 I_1 , 放电限制电流为 I_2 , 蓄电池实际放电电流为 I , 则 I 需运行在以下范围内:

$$\begin{cases} I < I_2 & \text{放电阶段} \\ -I < I_1 & \text{充电阶段} \end{cases} \quad (4)$$

3) 充放电截止电压限制

电池在充电过程中,随着 SOC 增加,电池两

端电压会有所上升。为防止电池过充,当电池两端电压达到截止充电电压时,应停止充电。在放电过程中,随着 SOC 降低,电池两端电压也会有所下降。为防止电池过放,应设置电池放电截止电压,保护电池。因此,若设电池的充放电截止电压分别为 U_1, U_2 , 电池两端实际电压为 U , 则 U 需运行在下面的范围内:

$$U_2 < U < U_1 \quad (5)$$

另外,为保证变流器正常工作,其直流侧电压需保证在某一运行范围之内,设为 $[U_{cmin} U_{cmax}]$ 。对于单极式电池储能系统,变流器直流侧电压 U_c 满足:

$$U_{cmin} \leq U_c \leq U_{cmax} \quad (6)$$

由蓄电池储能系统的结构可知,变流器直流侧电压 U_c 即为蓄电池组两端电压 U 。因此,蓄电池组两端电压需同时满足式(5)和(6)。

2 蓄电池储能系统在微电网中的作用及容量确定方法

微电网的首要目标是稳定运行,这是微电网技术可行的基础;其次是保障重要负荷的电能质量和不间断供电,这是满足用户高质量用电需求的关键;再次是容量可信度,能实现适度的可调度性与可预测性,这是微电网能够规模化接入大电网的保障。作为微电网的重要功能单元,储能是微电网实现稳定控制和能量管理的核心与载体。储能在微电网中的作用可分为提供短时供电(如 UPS)、电力调峰及热备用、改善微电网电能质量以及提升微电源特性(如功率平滑)等。

2.1 提供短时供电

微电网存在两种典型的运行模式:并网运行模式和孤岛运行模式。并网运行的微电网在正常情况下,微电网与常规配电网并网运行;当检测到电网故障或发生电能质量事件时,微电网将及时与电网断开独立运行。在新能源发电中,由于外界条件的变化,会导致经常没有电能输出(光伏发电的夜间、风力发电无风等),这时孤岛运行的微电网就需要储能系统向系统中的重要用户持续供电。

假设储能系统的容量为 W , 功率为 P , 系统中的重要负荷功率为 P_{load_e} , 需要备电的时间为 t 。为满足备电时间内重要负荷的功率及能量需求,提高

重要负荷的供电可靠性, 储能系统的功率及容量应满足下面的关系式:

$$\begin{cases} \eta W \geq P_{load_e} t \\ \eta P \geq P_{load_e} \end{cases} \quad (7)$$

式中: η 是储能装置的效率。

2.2 电力调峰及热备用

随着分布式电源及微电网的快速发展, 微电网中分布式电源的种类越来越多, 数量越来越大, 分布式电源在微电网中的渗透率越来越高, 柴油发电机等可控电源的调节能力显得越来越不足。当微电网中分布式电源(包括可控电源如柴发及不可控电源如光伏发电)的总发电功率小于负荷总功率时, 微电网将出现缺电的状况; 当不可控电源的总发电功率大于负荷总功率时, 微电网将出现电量过剩的状况。若采用储能系统将剩余电量存储起来以作备用电源, 至微电网缺电时放电, 可极大提高微电网的供电可靠性, 起到电力调峰及热备用的作用。设不可控电源的发电功率为 P_1 , 可控电源的最大发电功率为 P_2 , 储能系统提供的功率为 P , 负荷功率为 P_L , 系统功率缺额为 ΔP , 则有:

当 $P_1 + P_2 \geq P_L$ 时, $\Delta P = 0$;

当 $P_1 + P_2 < P_L$ 时, $\Delta P = P_L - P_1 - P_2 - P$;

可见, 当储能系统提供的功率 $P < (P_L - P_1 - P_2)$ 时, 微电网将发生缺电现象。记 R_{LPSP} 为一段时间内的缺电概率(loss of power supply probability, LPSP), 可表示为:

$$R_{LPSP} = \frac{\int_0^t \Delta P(t) dt}{\int_0^t P_L(t) dt} \quad (8)$$

根据微电网的供电可靠性要求设定微电网的允许缺电率为 R_{max} , 则有下面约束条件成立:

$$R_{LPSP} \leq R_{max} \quad (9)$$

由此, 可根据分布式电源的发电预测及负荷预测, 即可计算储能系统的最小容量要求。

多数可再生能源诸如太阳能、风能、潮汐能等, 由于其能量本身具有不均匀性和不可控性, 输出的电能可能随时发生变化。当外界的光照、温度、风力等发生变化时, 微源相应的输出能量就会发生变化, 造成微电网电压和频率的波动, 影响电能质量。采用储能装置调节分布式电源的输出功率, 将其功率波动降低至某一范围内, 可提高微电网的电能质量, 降低网内可调电源的调节压力, 改

善微电网运行状态。

设不可控电源的输出功率目标值为 P_0 , 实际输出功率为 P_1 , 储能系统输出功率为 P , 经储能系统调节后不可控电源的输出功率波动率为 R_{FPSP} (fluctuation of power supply probability, FPSP), 则有:

$$R_{FPSP} = |P + P_1 - P_0| / P \quad (10)$$

根据用户的要求设定允许功率波动率为 $R_{FPSP,max}$, 则有下面约束条件成立:

$$R_{FPSP} \leq R_{FPSP,max} \quad (11)$$

因此, 在这种应用方式下, 根据该地区分布式电源的发电预测及用户对分布式电源发电波动的允许范围, 即可计算储能系统的最小容量要求。

3 算例分析

本文以广东省万山区东澳岛为例, 采用上述分析方法, 计算岛内微电网孤岛运行时的储能系统容量配置方法。截止 2013 年东澳岛风电装机 2 600 kW, 光伏装机 850 kW, 并配有 7 500 kW 柴油发电机组, 6 000 kWh 电池储能系统。而 2013 年岛上年最大负荷仅为 7 055 kW, 最大负荷利用小时数为 2 500 h。以此配置的目的在于确保当风光储都无法正常出力时, 柴油发电机组能提供岛上所有用户的用电要求。本文则主要考虑风光储各设备正常, 在图 1~图 3 给出的年负荷、年风速和年光照曲线下, 储能系统各种应用场景下的容量需求。其中, 图 1 是根据岛上最大负荷及最大负荷利用小时数模拟的东澳岛年负荷曲线, 图 2 和图 3 是根据下面的东澳岛实测风光资源数据表(表 1)模拟的年风速和年光照曲线。

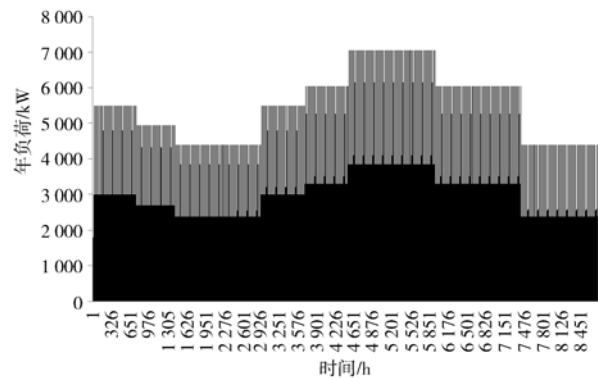


图 1 东澳岛年负荷曲线

Fig. 1 Dongao Island Annual Load Curve

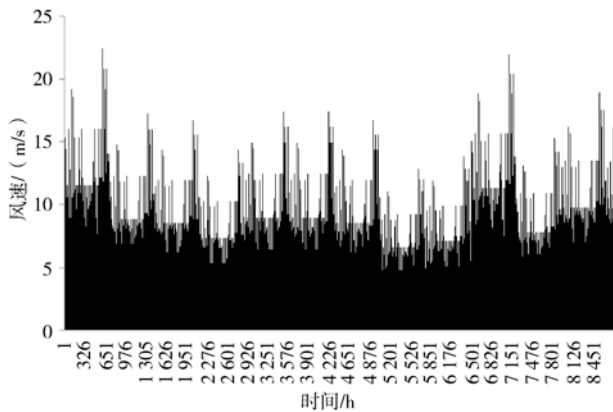


图2 东澳岛全年风速曲线

Fig. 2 Donggao Island Annual Wind Speed Curve

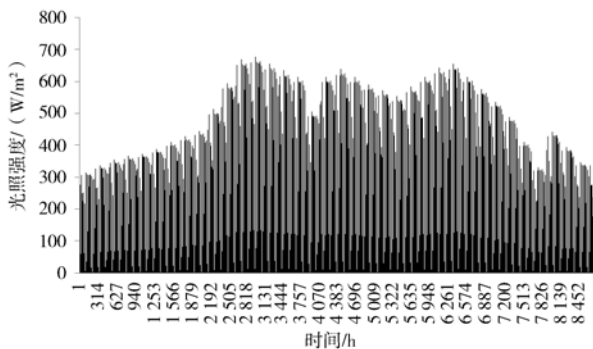


图3 东澳岛全年光照强度曲线

Fig. 3 Donggao Island Annual Light Intensity Curve

表1 东澳岛风光资源数据表

Table 1 The Light & Wind Resource Datasheet of Donggao Island

月份	1	2	3	4	5	6
风速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	9.4	7.2	7.0	6.0	7.3	7.3
光照强度 /($\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)	2.993	3.323	3.798	5.279	5.825	5.113
月份	7	8	9	10	11	12
风速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	7.0	5.4	5.8	9.2	6.4	7.9
光照强度 /($\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)	5.495	5.083	5.706	5.111	3.626	3.449

由于东澳岛柴油发电机组总容量大于最大负荷功率,由柴油发电机即可提供岛上全部负荷用电需求。但柴油发电机组发电需消耗柴油,发电成本较高。为降低发电成本,促进绿色经济发展,应优先使用新能源发电。此时储能系统既可作为新能源发电系统的功率平滑系统,也可用于电力调峰和热备用,起到能量转移的作用。当风光发柴均无法正常提供电力时,储能系统还能作为紧急备用,提供短时电源。表2所示是采用本文提出的储能系统容量配置方法,算得的各种应用场景下储能系统的容量

要求。计算中设定蓄电池的SOC不得小于20%,铅酸电池充放电截止电压分别为2.35V和1.85V,锂离子电池充放电截止电压分别为3.6V和2.5V。表中0.2C/0.2C、0.3C/0.3C、0.5C/0.5C分别表示蓄电池的允许充放电倍率,如0.2C/0.2C则表示电池的充电电流倍率不得高于0.2C,放电电流倍率不得高于0.2C。

计算结果显示,对于本项目中配置的6MWh储能容量,采用最大充放电倍率不超过0.2C的铅酸蓄电池,配合投入3500kW的柴油发电机组,可使负荷缺电率不超过0.2%。若用储能装置平抑风光系统输出功率波动,采用最大充放电倍率不超过0.2C的铅酸蓄电池,可将功率波动范围限制在5%以内;采用最大充放电倍率不超过0.3C的锂电池,可将功率波动范围限制在1%以内。由于算法限制了蓄电池的放电深度,因此以1MW的功率备电6小时,需7.5MWh的储能容量。

表2 东澳岛储能容量配置

Table 2 Donggao Island BESS Capacity Configuration

应用场合	负荷缺电率/ 分布式电源 输出功率波 动率(%)	铅酸蓄电池 (MWh)		锂电池 (MWh)	
		0.2C/ 0.2C	0.3C/ 0.3C	0.3C/ 0.3C	0.5C/ 0.5C
投入柴发 4500kW	1.0	0	0	0	0
	0.5	0	0	0	0
	0.1	0.58	0.388	0.364	0.217
	1.0	0	0	0	0
	0.3	0.46	0.308	0.276	0.166
	0.1	3.03	2.020	1.890	1.140
投入柴发 4000kW	1.0	0.73	0.490	0.440	0.265
	0.5	2.21	1.506	1.370	0.820
投入柴发 3500kW	0.2	3.87	2.580	2.410	1.450
	10	3.87	2.590	2.210	1.330
功率平滑	5	5.12	3.460	2.910	1.750
	1	7.01	4.790	4.010	2.410
	提供短时 电源	6×1000 kW	7.5 MWh	7.5 MWh	7.5 MWh

4 结论

通过上述算例可以看出,本文提出的电池容量优化配置方法有以下几个特点:

1) 根据电池储能系统在微电网中的作用,分别提出电池储能系统的容量优化方法,用户可根据项目的实际需求,制定电池储能系统的容量配置方

案。

2) 考虑了蓄电池的充放电倍率、蓄电池充放电深度以及电压限制。本文计算了不同充放电倍率下储能系统的容量要求。可见, 蓄电池允许的充放电倍率越高, 需要的储能容量越少, 蓄电池的寿命可能会相应降低。

3) 将负荷缺电率和输出功率波动率作为评价系统运行的指标, 指标要求越高, 需要配置的储能系统容量越大, 投资越大。

4) 在配置在电力调峰和热备用场景, 本文计算了投入运行不同容量的柴油发电机组时需要的储能系统容量。通过比较各种配置下运行的经济性, 可为东澳岛制定合理的运行方式提供参考。

综上所述, 本文提出的电池容量优化配置方法可根据储能系统在微电网中的主要作用, 项目对供电可靠性、电能质量的要求, 以及蓄电池运行状况等, 灵活配置电池储能系统的容量, 实现根据项目特点及业主要求的储能系统“私人定制”。

参考文献:

- [1] WU X, ZHANG Y, ARULAMPALAM A, et al. Electrical Stability of Large Scale Integration of Micro Generation into Low Voltage Grids [J]. International Journal of Electronics, 2005, 1(4): 1-23.

- [2] 张步涵, 曾杰, 毛承雄, 等. 电池储能系统在改善并网风电场电能质量和稳定性中的应用 [J]. 电网技术, 2006(15): 54-55.
ZHANG Buhuan, ZENG Jie, MAO Chengxiong, et al. Improvement of Power Quality and Stability of Wind Farms Connected to Power Grid by Battery Energy Storage System [J]. Power System Technology, 2006(15): 54-55.
- [3] 姚勇, 朱桂萍, 刘秀成. 电池储能系统在改善微电网电能质量中的应用 [J]. 电工技术学报, 2012, 27(1): 85-88.
YAO Yong, ZHU Guiping, LIU Xiucheng. Improvement of Power Quality of Micro-Grids by Battery Energy Storage System [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(1): 85-88.
- [4] 黄晓东, 郝木凯, 陈柔伊, 等. 微网中储能系统的控制与分析 [J]. 可再生能源, 2012, 30(2): 23-27.
HUANG Xiaodong, HAO Mukai, CHEN Rouyi, et al. Control and Analysis on Energy Storage Systems Used in Micro-grid [J]. Renewable Energy Resources, 2012, 30(2): 23-27.
- [5] 戴永年, 杨斌, 姚耀春, 等. 锂离子电池的发展状况 [J]. 电池, 2005(3): 193-195.
DAI Yongnian, YANG Bin, YAO Yaochun, et al. Development status of Li-ion batteries [J]. Battery Bimonthly, 2005(3): 193-195.

(责任编辑 张春文)

(下接第 82 页 Continued from Page 82)

线塔及转角塔的抗风能力估算的快速算法。直线塔的抗风能力与实际的水平档距关系密切, 转角塔的抗风能力与实际转角及水平档距都相关。运行人员可根据线路的设计资料, 查得相应参数, 利用式(4)及式(10)快速评估杆塔的抗风能力。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50545-2010, 110 kV~750 kV 架空输电线路设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2010.
- [2] 张勇. 输电线路风灾防御的现状与对策 [J]. 华东电力, 2006(3): 28-31.
ZHANG Yong. Status Quo of Wind Hazard Prevention for Transmission Lines and Counter Measures [J]. East China Electric Power. 2006(3): 28-31.
- [3] 彭向阳. 配电线路台风受损原因及风灾防御措施分析 [J].

南方电网技术, 2010(4): 100-102.

- PENG Xiangyang. Analysis on The Cause of Distribution Line's Damage During Typhoon and Counteract Measures [J]. Southern Power System Technology, 2010(4): 100-102.
- [4] BS5950. Structural Use of Steelwork in Buildings [S]. British Standards Institute, 1990.
- [5] XU Y L, ZHAN S. Field Measurements of Di Wang Tower During Typhoon York [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2001(89): 73-93.
- [6] 谢强, 李杰. 电力系统自然灾害的现状与对策 [J]. 自然灾害学报, 2006, 15(4): 126-131.
XIE Qiang, LI Jie. Current Situation of Natural Disaster in Electric Power System and Countermeasure [J]. Journal Of Natural Disasters, 2006, 15(4): 126-131.

(责任编辑 黄肇和)