

多属性多目标储能系统工况适用性对比平台开发

李翠萍¹, 胡达理¹, 李军徽¹, 张嘉辉¹, 李建林², 马会萌²

(1. 东北电力大学电气工程学院, 吉林 132012;

2. 中国电力科学研究院有限公司新能源与储能运行控制国家重点实验室, 北京 100192)

摘 要: 首先在电力系统发输配用各环节, 研究储能系统对典型应用场景的支撑作用, 提取储能典型应用模式下的工况特征; 然后通过 Matlab GUI 可视化软件的规划平台来实现基于前期挖掘的储能系统工况特征和多属性多目标储能系统工况适用性对比方法; 最后基于中国北部地区某电网实际运行数据给出算例, 验证该平台工作的有效性。规划平台的分析表明: 当储能系统并网后, 可增强电力系统的运作灵活性和经济性, 使得电力系统运行更稳定高效。该规划平台操作简便, 能为实际工况中的储能选型对比分析提供理论参考。

关键词: 储能; 选型; 评估; 平台; 风力发电

中图分类号: TM715

文献标识码: A

0 引 言

近年来储能技术的研究和发展一直受到各国能源、交通、电力等部门的重视。在电力系统各个环节的不同应用场景, 以及应用目标所构造出的不同工况条件对储能系统提出不同技术需求^[1,2]。储能类型众多, 近 10 年来全球 MW 级以上规模的 190 多个储能示范工程中超过 120 个与电化学储能相关^[3]。储能工况适用性对比过程需要综合考虑地理环境、储能应用远景目标、工况条件、经济性等, 决策指标设计应用场景/储能本体技术双侧, 具有多元化、不可公度性且原始信息掺杂大量主观因素, 属于多属性多目标决策问题^[4]。因此, 储能工况适用性对比成为储能规划阶段的关键问题之一, 对推动能源互联网建设具有重要现实意义^[5]。

能源互联网的高速发展促进了分布式储能的使用需求, 但因使用成本一直居高不下, 限制了分布式储能在电力系统中的广泛应用^[6]。为解决这一问题, 采用最新的云储能技术将云端的虚拟储能容量来代替实体储能, 以此来进行储能工况适用性对比分析方面的研究^[7]。云储能是一种基于已建成的现有电网的共享式储能技术, 可根据储能设施的不

同来使用共享的储能资源。由于共享储能资源, 使得云储能具有经济高效的特点, 可用较小的成本提供优质的储能服务^[8,9]。由于现在国内云储能技术尚未成熟, 未能将该技术结合到实际工况中分析。在国内电力系统各个环节中, 储能资源并未达到完全共享。因此, 设计云计算平台来分析云储能技术的实用性成为一种工况对比分析的可靠途径。

目前国内外的相关研究已有大量示范性应用, 国内能源行业推出一系列云计算平台来研究云储能技术, 国外实验室开发了许多软件来对储能工况适用性进行对比分析^[10]。文献[11]提出用智能微电网云平台技术, 来实现中低压配电系统层面上分布式能源的灵活、高效应用, 提高可再生能源的接入能力。文献[12]将各类电池储能的技术特性和经济特性进行对比, 研究以发电侧中的低通滤波平抑风电波动为应用场景, 开展多个储能选型的对比。文献[13]以在海岛独立型微电网中协调负荷和平抑波动为工况, 针对海岛独立型微电网的特点, 从技术和成本角度分析了适宜海岛独立型微电网的储能类型。文献[14,15]中采用层次分析法, 研究采用科学方法规范储能对比过程, 实现不同指标间的量化综合对比。文献[16]分析作用于调频

收稿日期: 2018-01-22

基金项目: 中国电力科学研究院有限公司新能源与储能运行控制国家重点实验室开放项目(DGB51201700424); 2017年吉林省发改委产业创新专项(2017C017-2); 2016年吉林省教育厅“十三五”科学技术研究项目(吉教科合字[2016]第88号)

通信作者: 李翠萍(1982—), 女, 博士、讲师, 主要从事新能源发电与运行控制、电动汽车设计与控制方面研究。licuipingabc@163.com

场景的储能类型对比情况,将含有 $\text{LiMO}_2/\text{Li}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ 和 LiFePO_4/C 的储能电池与其他储能电池进行对比。文献[17,18]开发电池储能系统运行分析与管理平台,可为实际工程中大规模应用奠定基础。上述文献主要从储能技术单方面出发,未能结合不同的工况提出针对性需求,影响因素考虑较少,对多属性多目标的储能系统工况适用性对比分析平台鲜有研究。

因此,本文在制定储能工况适用性对比综合评价指标的基础上,提出一种多属性多目标的储能工况适用性对比分析策略,基于 Matlab GUI 可视化软件开发多属性多目标储能系统工况适用性对比平台;最后,通过仿真验证规划平台工作的有效性。

1 储能工况适用性对比分析策略

储能系统应用于不同的场景中,其所起的主要作用和给不同的投资者所带来的价值方面也不同。研究表明,储能在电力系统发、输、配、用等各个环节都具有明显作用,增强了电力系统的运作灵活性和经济性,使得电力系统运行更加稳定、经济、高效、环保。

从电力系统的源网侧分析,风电具有随机波动性和不可控性,不利于电网安全运行,通过储能接入电力系统可得到改善。储能存储负荷谷时段的电能,在负荷高峰时段释放出来,以此实现削峰填谷,缓解负荷高峰/尖峰对电力系统安全稳定运行的压力;电池储能通过功率变换系统控制,具有响应速度快、有功功率与无功功率分开独立控制调节和效率高等优势,非常适合用于调频调压。

从发电侧分析,风电大规模并网后,会影响系统频率和电压的稳定性,降低电能质量。通过分析风电功率的频谱特性,发现接入储能系统可有效滤除风电功率中的高频分量和敏感频段,达到平抑风电功率的目的,为系统提供较为稳定的功率输出,从而提高系统电压的稳定性和风电并网规模。

从输电侧分析,我国多地电网结构相对薄弱,跨区输送能力及协调能力不足,使得风电在大规模发展的过程中风电接纳量越来越少,弃风现象越来越严重。通过储能系统可在输电线路容量不足或充裕时,进行合理存储和释放,减少弃风带来的损失,从而提高风电输送能力,增加电网对风电的接

纳量。图 1 为储能系统对电网运行的改善情况示意图。

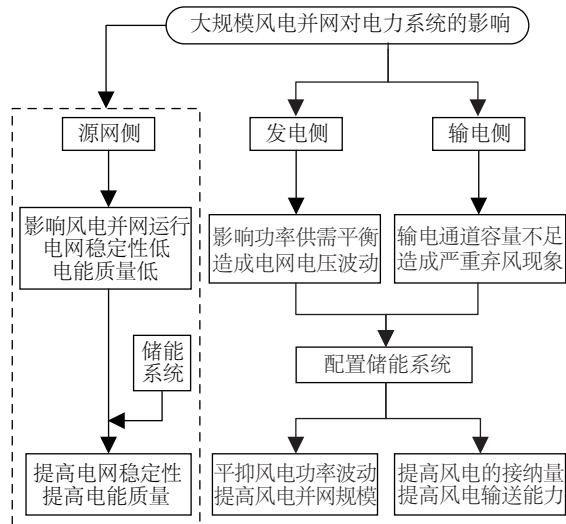


图 1 储能系统对电网运行的改善情况示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the improvement of energy storage system on grid operation

本文提出的多属性多目标储能工况适用性对比分析策略,就是对不同应用场景下的不同储能类型进行对比分析,建立储能工况适用性综合评价指标,该指标包含储能类型和评价指标参数 2 个方面。

评价指标包含的储能类型包括抽水蓄能、压缩空气储能、飞轮储能、钠硫电池、钒液流电池、胶体电池、铅炭电池、磷酸铁锂电池、钛酸锂电池、氢储能、超导储能和超级电容。

评价指标参数包括储能容量配置、平抑效能指标、储能成本指标、储能技术指标等。

并且在储能容量配置的计算过程中,分别在电力系统的源网侧提出用于松弛调峰和调频调压的储能容量优化配置方法,以此来得到不同应用场景下的最优容量配置;在发电侧提出基于低通滤波器和带阻滤波器原理的平抑风电功率波动、储能容量优化配置策略以及基于自回归模型的风电功率预测的储能容量优化配置策略;在输电侧提出用于提高风电功率外送、风电接纳量的储能容量优化配置模型。

2 储能工况适用性对比分析综合评价指标

该综合评价指标主要包含储能系统容量配置

指标、平抑效能指标、储能系统成本指标和储能系统技术指标 4 个评价方面。其中容量配置指标通过在不同应用场景下采用满足配置策略的不同储能系统的容量配置来计算,平抑效能指标采用单位时间内最大功率变化量来计算,储能系统成本指标由储能容量成本和储能功率成本构成,储能系统技术指标由循环寿命、放电深度和能量转换效率构成。

2.1 储能系统容量配置指标

在配置储能系统时,不同的储能类型由于特性不同导致接入的储能系统所需容量有很大的差别。随着容量配置的增加,储能系统的投资成本也会不断增加,所以当储能系统在某一场景下运行时,其所需配置的储能容量应越小越好,故定义储能系统的容量配置评价指标如式(1)所示:

$$C_w = \left(1 - \frac{W}{W_{\max}}\right) \times 100\% \quad (1)$$

式中, W_{\max} ——同一应用场景下 12 种储能类型中的最大储能系统容量, MWh; W ——所选储能类型的储能系统容量, MWh。

2.1.1 峰谷调节的储能容量配置策略

在电网的源网侧分析中,将储能系统用于松弛调峰,综合考虑储能系统经济效益及投资成本,以储能系统运行年限内的总收益最大为目标,构建一种储能容量配置优化目标函数:

$$S(E, P) = \max[C_w E_p + C_f E_p + (\sum_{i=1}^m P_i \eta_i - P_h) \eta_e E + C_{dc} E \eta_{dc} - C_e E / \eta_e - EC_1 - PC_2] \quad (2)$$

式中, $S(E, P)$ ——储能系统获得的最大收益, 万¥; C_w ——风电电价, ¥/MW; E_p ——接入储能系统后电网多接纳的风电量, MW; C_f ——火电机组生产单位电能的排放成本, ¥/MW; P_i ——金属 i 的价格, ¥/t; η_i ——单位重量储能电池中金属 i 的含量; η_e ——储能系统能重比; P_h ——处理单位重量废电池所需生产性支出, ¥/t; C_e 、 C_{dc} ——电网低谷、高峰时段的电价, ¥/kWh; η_e 、 η_{dc} ——储能系统充电效率和放电效率; E 、 P ——储能系统容量配置和功率配置, MWh、MW; C_1 、 C_2 ——储能系统容量单价和功率单价, ¥/MWh、¥/MW。

2.1.2 调频调压的储能容量配置策略

在源网矛盾的分析中,将储能用于系统的调频

中,综合考虑储能因减少弃风量而产生的经济效益、储能系统的投资成本和运行维护成本,构建一种储能容量配置优化目标函数:

$$F(E_{\text{rate}}, P_{\text{rate}}) = \max \left[\sum_{i=1}^n E_r(i) C_w - (C_1 E_{\text{rate}} + C_2 P_{\text{rate}}) - \sum_{m=1}^k C_m P_{\text{rate}} \right] \quad (3)$$

式中, n ——需要风电场提供一次调频备用的调度周期的个数; $E_r(i)$ ——第 i 个调度周期弃风电量减少量最大值, MW; C_w ——风电电价, ¥/MW; C_m ——储能系统的年运行维护成本, ¥/MW; k ——储能系统的寿命, a; P_{rate} 、 E_{rate} ——储能系统的额定功率及容量最大值, MW、MWh。

2.1.3 平抑风电功率波动的储能容量配置策略

在电力系统运行的发电侧,设计基于低通滤波器原理的风电功率平抑策略,从而来得到相应的储能系统配置。设截止频率为 f_c , 平抑控制周期为 T_c , 则储能系统在 t 时刻的充放电功率 $P_{b,k}$ 表达式如式(4)所示:

$$P_{b,k} = \frac{\tau}{\tau + T_c} (P_{w,k} - P_{\text{out},k-1}) \quad (4)$$

式中, $P_{w,k}$ ——第 k 个周期风电的输出功率, MW; $P_{\text{out},k}$ ——第 k 个周期经过低通滤波器处理后注入电网的功率, MW; τ ——滤波时间常数, $\tau = 1/2\pi f_c$ 。

再根据 $P_{b,k}$ 的值和储能系统的初始能量来计算第 k 个控制周期结束时储能系统的实时能量 E_k 以及需要配置的储能系统容量 W :

$$E_k = E_0 + \sum_{m=1}^k P_{b,m} \cdot T_c \quad (5)$$

$$W = \max_{k=1, \dots, n} E_k - \min_{k=1, \dots, n} E_k \quad (6)$$

根据所得的 P_b 和 W , 就可确定在低通滤波器原理下平抑风电功率波动所需的配置容量。

在电力系统的发电侧,还可通过使用带阻滤波器来滤除风电功率中的敏感频段,以达到平抑风电功率波动的目的。设带阻滤波器第 k 个周期输入为风电场输出功率数值 $P_{w,k}$, 滤波输出为 $P_{\text{out},k}$, 由滤波算法确定储能系统充电功率控制参考值 $P_{b,k}$ 如式(7)所示:

$$P_{b,k} = \frac{1+\alpha}{2} P_{w,k} + \beta(1+\alpha) P_{w,(k-1)} - \frac{1+\alpha}{2} P_{w,(k-2)} - \beta(1+\alpha) P_{\text{out},(k-1)} - \alpha P_{\text{out},(k-2)} \quad (7)$$

式中, α 、 β ——带阻滤波器参数。

2.1.4 风电预测模型的储能容量配置策略

在电力系统运行的发电侧,根据自回归模型建立了基于时间序列法的风电功率预测模型,其未来调度每天各时段风电功率预测最大值 $P_{f,(k+1),\max}$ 如式(8)所示:

$$P_{f,k,\max} = \varphi_0 + \varphi_1 P_{\text{his},k,\max} + \varphi_2 P_{\text{his},(k-1),\max} + \cdots + \varphi_p P_{\text{his},(k-p),\max} + \varepsilon_t \quad (8)$$

式中, φ_0 ——常数项; $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_p$ ——自回归系数; ε_t ——随机干扰量; $P_{\text{his},k,\max}, P_{\text{his},(k-1),\max}, \dots, P_{\text{his},(k-p),\max}$ ——历史各调度时段的最大风电功率, MW。

2.1.5 提高风电接纳量的储能容量配置策略

在电力系统运行的输电侧,以提高风电接纳量为目标,综合考虑风电的输送需求、输电工程成本、可能阻塞弃风损失、输电运行效益以及储能投资成本等因素,构建能反映含有储能系统的输电工程综合收益的目标函数如式(9)所示:

$$f(B_e, C_e) = \max [K_r(G_w + G_L) + K_L G_L - K_s P_{\text{line}} L / T_s - (C_1 B_e + C_2 C_e) / T_c] \quad (9)$$

式中, f ——基于全寿命周期理论的含有储能系统的风电外送输电工程的综合收益, 万¥; K_r ——输电企业外送单位风电量的价格, 万¥/MW; K_L ——弃风损失的补偿单价, 万¥/MW; G_w ——输电工程每年送出的风力发电量, MW; G_L ——储能系统提高的风电输电量, MW; L ——输电距离, km; K_s ——单位容量、单位长度下的输电工程造价, 万¥/(km·MW); T_s ——输电工程投资静态回收周期, a; P_{line} ——输电通道容量, MW; C_1 ——储能系统容量价格, 万¥/MWh; C_2 ——储能系统功率价格, 万¥/MW; B_e ——储能系统容量配置, MWh; C_e ——储能系统功率配置, MW。

2.3 平抑效能指标

应用储能系统对风电功率进行平抑时,为了评价不同滤波器参数下,风电功率波动的平抑效果,构建相应的平抑效能指标。根据《风电场接入电力系统技术规定》中对风电场并网运行时输出功率的最大变化率做出的规定,以单位时间内最大功率变化量为基础,定义风电功率波动平抑效能的评价指标如式(10)所示:

$$\gamma = \left(100 \times \frac{\alpha - \beta}{\alpha} \right) \% \quad (10)$$

式中, α ——平抑前的单位时间内最大功率变化量, MW; β ——平抑后的单位时间内最大功率变化量, MW。

2.4 储能系统成本指标

储能系统的投资成本一直是储能技术应用的关键因素之一。储能系统的投资成本包括储能系统容量成本和储能系统功率成本,其具体的评价指标如式(11)所示:

$$C_s = 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{C_1 W}{C_{1\max} W_{\max}} + \frac{C_2 P}{C_{2\max} P_{\max}} \right) \times 100\% \quad (11)$$

式中, W 、 P ——所选储能类型的储能系统容量和功率, MWh、MW; $C_{1\max}$ 、 $C_{2\max}$ ——12种储能类型中最高容量单价和功率单价, 万¥/MWh、万¥/MW; W_{\max} 、 P_{\max} ——在同一应用场景下12种储能类型中的最大储能系统容量和功率, MWh、MW。

2.5 储能系统技术指标

不同储能类型由于不同的参数,其表现出来的特性也各不相同。故建立储能循环寿命评价指标如式(12)所示:

$$C_L = \frac{1}{3} \left(\frac{L}{L_{\max}} + D + \frac{\eta}{\eta_{\max}} \right) \times 100\% \quad (12)$$

式中, L ——所选取储能类型的储能循环寿命, a; L_{\max} ——12种储能类型中最大的储能循环寿命, a; D ——所选储能类型的放电深度,分为1.00、0.75、0.50、0.25共4个等级; η ——所选取储能类型的能量转换效率; η_{\max} ——12种储能类型中最大的能量转换效率。

2.6 综合评价指标

构建完各储能参数的评价指标模型后,采用将主观赋权法中的层次分析法和客观赋权法中的熵值赋权法相结合的主客观组合赋权法来确定各评价指标的权重。

在发电侧采用滤波器来进行风电功率平抑控制时,控制的过程中涉及到使用平抑效能指标来评价平抑效果,所以建立发电侧基于滤波器原理的储能工况适用性对比综合评价指标如式(13)所示:

$$\lambda_1 = 0.12\gamma + 0.45C_w + 0.32C_s + 0.11C_L \quad (13)$$

在源网侧、输电侧以及风电预测的应用中,建立其储能工况适用性对比综合评价指标如式(14)所示:

$$\lambda_2 = 0.49C_w + 0.34C_s + 0.17C_L \quad (14)$$

该储能工况适用性对比综合评价指标可在选定储能的应用场景后,结合所需的储能配置,通过处理不同储能类型的特性、成本、寿命等因素来得到每一种储能类型的评价指标,通过可视化软件以图形、特征值的形式直观的呈现出对比分析结果,以此来获得最优的储能选型方案。

3 储能工况适用性对比平台设计

3.1 平台设计思路

基于上述提出的储能工况适用性对比综合评价指标与储能工况适用性对比分析策略,开发储能工况适用性对比平台,并对规划方案进行合理评估。建立规划平台框架,如图2所示。

第1部分为源网侧,包括储能松弛调峰和调频调压。

第2部分为发电侧,包括低通滤波平抑风电功率波动、带阻滤波平抑风电功率波动和风电功率预测3个方面。

第3部分为输电侧,包括提高风电功率外送和提高风电接纳量。

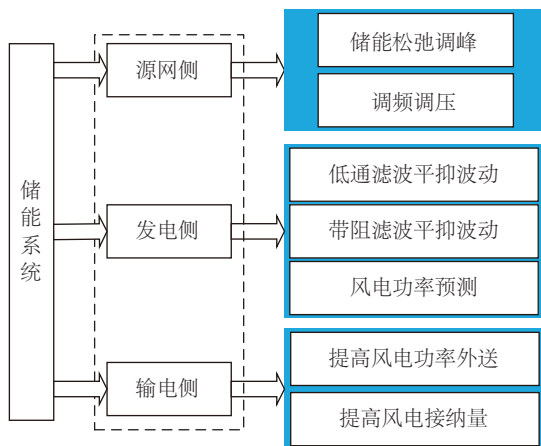


图2 适用性对比平台框架

Fig. 2 Framework of applicability contrast platform

3.2 各子平台功能设计

3.2.1 源网侧子平台功能设计

该部分包括储能松弛调峰模块、调频调压模

块,其结构如图3所示。

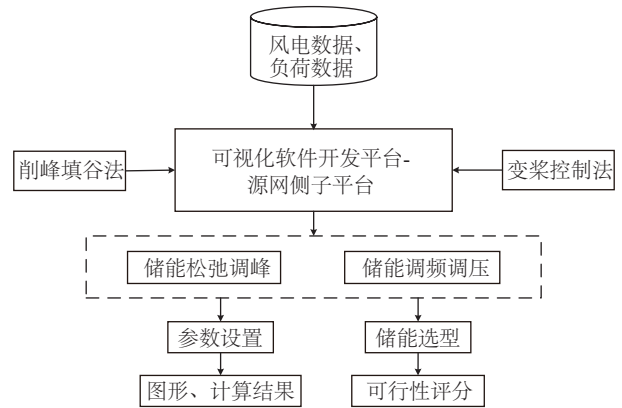


图3 源网侧子平台结构

Fig. 3 Structure of source network side sub-platform

储能松弛调峰模块可通过设定不同时刻的电价,选择不同的储能类型,对容量的配置和经济性进行分析,通过可视化软件规划平台输出特征值,观察波形来了解不同储能类型使用削峰填谷法对风电功率波动的改善情况;储能调频调压模块可通过给定经济性参数、容量配置参数和风电渗透率等,通过软件仿真平台中使用的变桨控制法得到一次调频的仿真结果,分析调频程度和经济效益。

3.2.2 发电侧子平台功能设计

该部分包括低通滤波平抑风电波动、带阻滤波平抑风电波动、风电功率预测3部分,其结构如图4所示。

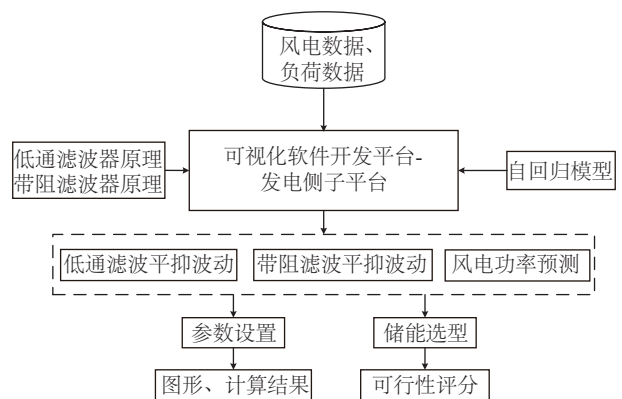


图4 发电侧子平台结构

Fig. 4 Structure of power generation side sub-platform

低通滤波器模块主要对导入的风电、负荷数据进行计算分析,根据不同的储能类型,选取相应分析数据,输出不同滤波器参数下的平抑效果图、风电功率特性曲线、频谱曲线等,同时也可输出计算

得到的特征值;风电功率预测模块可通过自回归模型,根据风电场理论出力与实际出力计算风电场情况,从时序和持续角度对风电功率的情况进行分析;带阻滤波器模块对导入的数据进行计算分析,输出不同滤波器参数下的平抑效果图、风电功率特性曲线、频谱图等,同时可输出计算得到的特征值。

3.2.3 输电侧子平台功能设计

该部分包括提高风电功率外送模块、提高风电接纳量模块,其结构如图5所示。

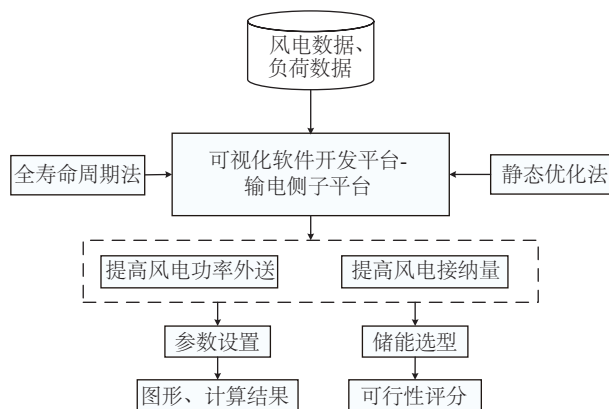


图5 输电侧子平台结构

Fig. 5 Structure of transmission side sub-platform

提高风电功率外送模块根据本文提出的策略,通过软件平台输入风电数据、负荷数据,采用全寿命周期理论将给定的条件参数设置后,输出特征值和特征波形,分析不同的储能配置下输送通道的提升风电功率效果;提高风电接纳量模块根据本文提出的储能容量配置策略,用静态优化法分析了给定不同储能配置时,运行时风电接纳量的提升效果。

4 规划平台仿真验证

4.1 源网侧子平台

4.1.1 算例条件

本算例采用某风电场供电数据,取其中一天的风电、负荷数据进行分析。现以储能松弛调峰模块为例,储能类型选择抽水蓄能电池对“削峰填谷”效果进行仿真。

①假设火电机组出力为 257.43 MW,储能回收价格为 46 万 ¥/t ;

②风电电价在峰值时为 700 ¥/MWh ,在谷值时为 500 ¥/MWh ,在平时并网价格为 600 ¥/MWh ;

③抽水蓄能类型的充放电效率为 75%,储能成本为 79.51 万 ¥ ,储能寿命为 20 a。

4.1.2 仿真验证

以储能松弛调峰模块分析为例,如图6所示,导入数据之后,将给定的条件输入平台中,点击“容量配置分析”按钮,进行特征值与图形的显示。

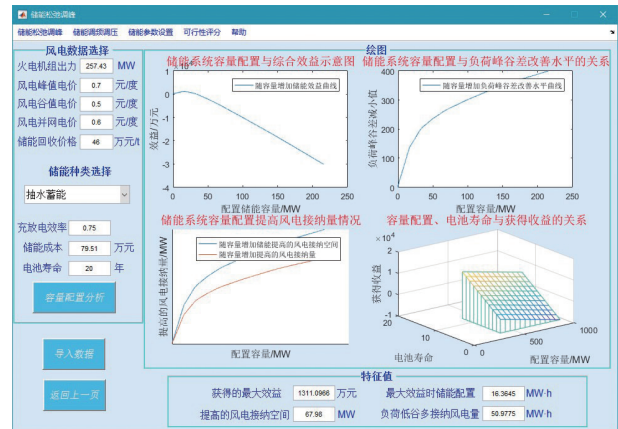


图6 源网侧子平台仿真

Fig. 6 Simulation of source network side sub-platform

图6中,获得的最大效益为 1311.0966 万 ¥ ,提高的风电接纳空间为 69.98 MW,最大效益时储能配置容量为 16.3645 MWh,负荷低谷多接纳风电量为 50.9775 MWh。

4.2 发电侧子平台

4.2.1 算例条件

本算例采用某风电场供电数据,取其中一天的风电、负荷数据进行分析。现以低通滤波器平抑风电功率波动为例,储能类型选择抽水蓄能对风电波动平抑效果进行仿真。

①假设使用的抽水蓄能的储能系统功率为 279.51 kW,储能系统容量为 21.35 kWh;

②低通滤波器的截止频率为 0.001 Hz,基波频率为 0.0001 Hz;

③采样间隔为 5 s。

4.2.2 仿真验证

以低通滤波器模块为例,如图7所示,点击“导入数据”按钮,可选择要导入的数据;导入风电、负荷数据之后,将设定的条件输入软件,点击“平抑效能指标”按钮,可显示相关图形、输出计算结果。

图7中,低通滤波器的时间滤波参数为 47.75 s,平抑前的功率最大变化量为 261.33 kW,平抑后的功率最大变化量为 192.83 kW,平抑效能指标为

26.21%, 平抑效果显著。

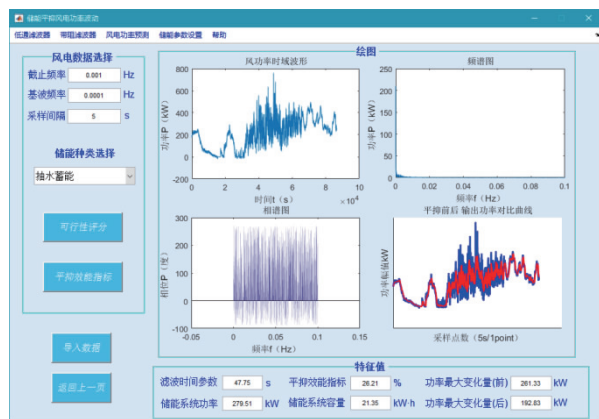


图7 发电侧子平台仿真

Fig. 7 Simulation of power generation side sub-platform

4.3 输电侧子平台

4.3.1 算例条件

本算例采用某风电场供电数据,取其中一天的风电、负荷数据进行分析。现以提高风电接纳量模块为例,储能类型选择抽水蓄能电池对提高风电接纳量效果进行仿真。

①假设风电外送价格为 0.06 元/kWh,储能容量价格为 600 元/kWh;

②输电通道容量为 549 MW,输电线路长度为 200 km;

③抽水蓄能类型的充放电效率为 75%,储能寿命为 20 a。

4.3.2 仿真验证

以提高风电接纳量模块为例,如图 8 所示,点击“导入数据”按钮,可选择要导入的数据;导入数据之后,将给定的条件输入平台中,点击“确定”按钮,进行特征值与图形的显示。

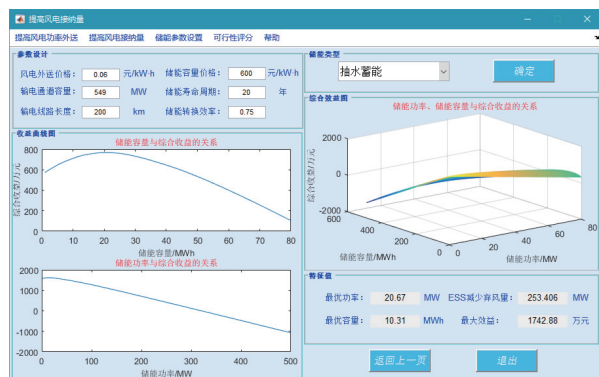


图8 输电侧子平台仿真

Fig. 8 Simulation of transmission side sub-platform

如图 8 所示,当储能容量为 20.67 MWh,储能功率为 10.31 MW 时,经济效益达到最优。右图为综合考虑储能容量和储能功率考虑的经济效益曲线,此时减少弃风量为 253.406 MW,最大收益为 1742.88 万元。

5 结 论

本文提出储能工况适用性对比分析评价指标,建立多属性多目标的储能工况适用性对比分析策略;根据所提容量配置方法,基于可视化软件开发储能系统工况适用性对比平台。算例基于中国北部地区某电网实际运行的风电、负荷数据导入平台进行仿真分析,验证规划平台的可行性。通过仿真结果可知,该平台可实现对实时数据的导入,并分析储能不同场景中的适用性,通过打分体系实现对储能选型的对比分析。该平台使用方便,操作简单,为实际工况中的储能选型对比分析提供理论支撑。

[参考文献]

- [1] 刘 波,贺志佳,金 昊.风力发电现状与发展趋势[J].东北电力大学学报,2016,36(2):7—13.
- [1] Liu Bo, He Zhijia, Jin Hao. Wind power status and development trends[J]. Journal of Northeast Electric Power University, 2016, 36(2): 7—13.
- [2] 迟永宁,梁 伟,张占奎,等.大规模海上风电输电与并网关键技术研究综述[J].中国电机工程学报,2016,36(14):3758—3771.
- [2] Chi Yongning, Liang Wei, Zhang Zhankui, et al. An overview on key technologies regarding power transmission and grid integration of large scale offshore wind power[J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 36(14): 3758—3771.
- [3] 李军徽,蒋 莲,李翠萍,等.用于超级电容器储能系统变流器的控制策略设计[J].东北电力大学学报,2017,37(4):32—38.
- [3] Li Junhui, Jiang Lian, Li Cuiping, et al. Control strategy designed for converter of super capacitor energy storage system[J]. Journal of Northeast Electric Power University, 2017, 37(4): 32—38.
- [4] 马会萌,李 蓓,李建林,等.面向经济评估的电池储能系统工况特征量嵌入性研究[J].电力系统保护与控制,2017,45(22):70—77.
- [4] Ma Huimeng, Li Pei, Li Jianlin, et al. Embedded research on working condition characteristics of battery energy storage system for economic evaluation[J].

- Power System Protection and Control, 2017, 45(22): 70—77.
- [5] Chen Chen, Zhao Honghui, Qiu Tie, et al. An efficient power saving polling scheme in the internet of energy [J]. Journal of Network & Computer Applications, 2017, 89(7): 48—61.
- [6] 王 钊, 刘丽娜, 徐 备, 等. 改善农网低电压与网损的分布式储能系统规划方案研究[J]. 东北电力大学学报, 2017, 37(5): 19—24.
- [6] Wang Qian, Liu Lina, Xu Bei, et al. Planning of distributed energy storage system for improving low voltage and network loss in rural network [J]. Journal of Northeast Electric Power University, 2017, 37(5): 19—24.
- [7] 李建林, 马会萌, 田春光, 等. 基于区间层次分析法的电化学储能选型方案[J]. 高电压技术, 2016, 42(9): 2707—2714.
- [7] Li Jianlin, Ma Huimeng, Tian Chunguang, et al. Selection scheme of electrochemical energy storage based on interval analytic hierarchy process method [J]. High Voltage Engineering, 2016, 42(9): 2707—2714.
- [8] 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, 16.
- [8] Kang Chongqing, Liu Jingkun, Zhang Ning. A new form of energy storage in future power system: Cloud energy storage [J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(21): 2—8, 16.
- [9] 刘静琨, 张 宁, 康重庆. 电力系统云储能研究框架与基础模型[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(12): 3361—3371, 3663.
- [9] Liu Jingkun, Zhang Ning, Kang Chongqing. Research framework and basic models for cloud energy storage in power system [J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(12): 3361—3371, 3663.
- [10] 陈继忠, 胡 娟, 武国良, 等. 模块化储能系统工况测试方法[J]. 电网技术, 2016, 40(11): 3482—3488.
- [10] Chen Jizhong, Hu Juan, Wu Guoliang. Research of duty cycle test method for module ESS [J]. Power System Technology, 2016, 40(11): 3482—3488.
- [11] 刘 玮. 面向分布式能源的智能微电网云平台系统设计[J]. 电气应用, 2017, 36(16): 4—8.
- [11] Liu Wei. Design of intelligent micro grid cloud platform system for distributed energy [J]. Power System Technology, 2017, 36(16): 4—8.
- [12] 叶季蕾, 薛金花, 吴福保, 等. 可再生能源发电系统中的储能电池选型分析[J]. 电源技术, 2013, 37(2): 333—335.
- [12] Ye Jilei, Xue Jinhua, Wu Fubao, et al. Application analysis and capacity configuration of battery energy storage in renewable generation system [J]. Power Source Technology, 2013, 37(2): 333—335.
- [13] 赵 波, 张雪松, 李 鹏, 等. 储能系统在东福山岛独立型微电网中的优化设计 and 应用[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(1): 161—167.
- [13] Zhao Bo, Zhang Xuesong, Li Peng, et al. Optimal design and application of energy storage system in dongfushan island stand-alone microgrid [J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(1): 161—167.
- [14] Wei Le, Hou Junhong, Qin Tengting, et al. Evaluation of grid energy storage system based on AHP-PROMETHEE-GAIA [A]. Chinese Control Conference [C], Chengdu, China, 2016, 9787—9792.
- [15] 雷 杨, 马宁宁, 康积涛, 等. 基于AHP/GA的储能装置参与电网调频控制器参数优化[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(8): 227—233.
- [15] Lei Yang, Ma Ningning, Kang Jitao, et al. Parameter optimization based on AHP/GA for frequency modulation controller of energy storage system [J]. Electric Power Automation Equipment, 2017, 37(8): 227—233.
- [16] Swierczynski M, Stroe D-I, Stan A-I, et al. Selection and performance-degradation modeling of $\text{LiMO}_2/\text{Li}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ and LiFePO_4/C battery cells as suitable energy storage systems for grid integration with wind power plants: An example for the primary frequency regulation service [J]. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2014, 5(1): 90—101.
- [17] 李军徽, 冯喜超, 朱星旭, 等. 10 kW/20 kWh 锂电池能量管理系统的设计与实现[J]. 太阳能学报, 2014, 35(12): 2490—2496.
- [17] Li Junhui, Feng Xichao, Zhu Xingxu, et al. Design and implementation of energy management system for a 10 kW/20 kWh lithium-ion battery [J]. Acta Energetica Solaris Sinica, 2014, 35(12): 2490—2496.
- [18] Vavilapalli S, Subramaniam U, Padmanaban S, et al. Design and real-time simulation of an AC voltage regulator based battery charger for large-scale PV-grid energy storage systems [J]. IEEE Access, 2017, 5: 1—1.

DEVELOPMENT OF COMPARISON PLATFORM FOR CONDITION ADAPTABILITY OF MULTI-ATTRIBUTE AND MULTI-OBJECTIVE ENERGY STORAGE SYSTEM

Li Cuiping¹, Hu Dacheng¹, Li Junhui¹, Zhang Jiahui¹, Li Jianlin², Ma Huimeng²

(1. School of Electrical Engineering, Northeast Electric Power University, Jilin 132012, China;

2. State Key Laboratory of Operation and Control of Renewable Energy & Storage Systems,

China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China)

Abstract: The supporting role of energy storage system for typical application scenarios is studied in the power system transmission and distribution, and the working condition characteristics under typical application mode of energy storage can be extracted. Then, through the planning platform of MATLAB GUI visualization software, this paper realizes the comparison method of the operating conditions of the energy storage system based on the initial excavation and the multi-attribute multi-objective energy storage system. Finally, based on the actual operation data of a power grid in northern China, an example is given to verify the effectiveness of the work. The analysis of the planning platform showed that when the energy storage system is connected, the operation flexibility and economy of the power system are enhanced, making the power system operation more stable and efficient. The platform is easy to operate and provides a theoretical reference for comparison and analysis of energy storage in actual working conditions.

Keywords: energy storage; selection; evaluation; platform; wind power