

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2012.06.019

# 电池储能系统对风力发电系统可靠性的影响

袁 越<sup>1,2</sup>, 张新松<sup>1,2</sup>, 傅质馨<sup>1,2</sup>

(1. 河海大学能源与电气学院, 江苏 南京 210098;  
2. 河海大学可再生能源发电技术教育部工程研究中心, 江苏 南京 210098)

**摘要:** 为提高风力发电机组对发电系统可靠性的贡献, 将电池储能系统(BESS)接入风电场的汇流母线, 并以电力不足期望与电量不足期望为可靠性衡量指标, 利用序贯蒙特卡洛技术评估 BESS 对发电系统可靠性的影响。考虑到 BESS 在生命周期内的充、放电次数有限, 为延长其使用寿命, 严格控制 BESS 运行过程中的不完整充、放电循环。基于 RETS 测试系统的仿真结果表明, 在不显著消耗 BESS 循环寿命的情况下, BESS 可有效提高风力发电机组对发电系统可靠性的贡献。

**关键词:** 电池储能系统; 风电场; 发电系统可靠性; 序贯蒙特卡洛模拟

**中图分类号:** TM712      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-1980(2012)06-0704-06

## Impacts of battery energy storage system on reliability of wind energy generation system

YUAN Yue<sup>1,2</sup>, ZHANG Xinsong<sup>1,2</sup>, FU Zhixin<sup>1,2</sup>

(1. College of Energy and Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;  
2. Research Center for Renewable Energy Generation Engineering, Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** To enhance the reliability contribution of wind turbine generators to the power generation system, the battery energy storage system (BESS) was incorporated into a wind farm, and the sequential Monte Carlo simulation technology was used to assess the reliability of the power generation system incorporated with BESS and wind farms, measured by loss of energy expectation (LOEE) and loss of load expectation (LOLE) indices. With consideration of a finite number of battery charge-discharge cycles, any incomplete charge-discharge cycle was forbidden for prolonging the lifetime of the battery. The simulation results of RBTS indicate that incorporation with BESS can dramatically enhance the reliability without consuming too many charge-discharge cycles of the battery.

**Key words:** battery energy storage systems; wind farm; reliability of power generation system; sequential Monte Carlo simulation

随着环境污染的日益加剧及化石燃料的逐渐枯竭, 风电作为一种可大规模开发利用的可再生能源受到了越来越多的重视。中国政府计划在中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划期间(2011—2015 年)将风电装机容量增加至 1 亿 kW。然而, 与常规能源发电机组不同, 风电场出力由随机风速决定, 是一种典型的间歇性、波动性能源, 其对发电系统可靠性的贡献远不如同容量的常规发电机组。通过对 RBTS 可靠性测试系统<sup>[1]</sup>的研究发现, 90 MW 的风电机组对该测试系统可靠性的贡献仅相当于原系统中 1 台 10 MW 的常规发电机组<sup>[2]</sup>。当然, 这一替代率与风力发电机轮毂处的平均风速及其参数均有密切的关系。

20 世纪 80 年代以来, 欧、美国家普遍意识到电池储能系统(BESS)在电力系统中的应用潜力。众多的 BESS 试验工程在世界范围内投入运营, 并取得良好的效益<sup>[3,4]</sup>。如位于美国加州奇诺的 BESS(容量为

收稿日期: 2012-05-18

基金项目: 国家自然科学基金(51077041)

作者简介: 袁越(1966—), 男, 陕西西安人, 教授, 博士, 主要从事全能源发电技术研究。E-mail: yyuan@hhu.edu.cn

40 MW · h;最大充、放电功率为 10MW) 试验工程成功运行了 10 a(1988—1997 年),该工程被成功地应用于提供快速备用、抑制低频震荡、电压控制、频率控制等方面。进入 21 世纪后,随着风电大规模接入电网,工业界和学术界普遍意识到风电的波动性和间歇性会对电网运行带来巨大的挑战<sup>[5]</sup>,如降低系统可靠性、增加系统运行成本、恶化电能质量等。此时,学者们开始探讨如何利用 BESS 灵活的充、放电能力平滑风功率波动<sup>[6-8]</sup>、改善风功率间歇性,并在一定程度上实现风电的可调度<sup>[9-10]</sup>。

我国于 2010 年启动的国家科技支撑计划“风光储输示范工程关键技术研究”也开始着手研究数十兆瓦级的 BESS 集成技术,并将其应用于可再生能源发电并网工程。与此同时,加拿大著名学者 Billinton 领导的研究小组尝试将储能装置接入到风电场,并借助蒙特卡洛模拟技术分析其对发电系统可靠性的贡献<sup>[11-12]</sup>。Bagen 等<sup>[11]</sup>将 BESS 接入包含风电场和光伏电站的孤立电力系统,并研究不同容量的 BESS 对孤立系统可靠性的贡献。研究表明,BESS 可有效提升孤立系统的可靠性,且 BESS 容量越大,可靠性的提升效果越明显。Hu 等<sup>[12]</sup>研究了风电接入后,BESS 对发电系统可靠性的贡献,指出 BESS 可有效提升发电系统的可靠性。此外,文献[12]还提出几种不同的 BESS 运行策略,并对比了不同策略下的发电系统可靠性提升效果。但是在上述研究工作中没有明确指明储能装置的类型,且几乎没有考虑储能装置的特性。

为改善风电的间歇性,笔者尝试将 BESS 接入到风电场的汇流母线,并利用序贯蒙特卡洛模拟技术(SMCS)评估其对发电系统可靠性的贡献。并用电力不足期望( $E_{LOLE}$ )与电量不足期望( $E_{LOEE}$ )2 个常用指标衡量发电系统的可靠性。为充分利用 BESS 有限的充、放电循环寿命,任何不完整的充、放电循环在电池运行过程中均被严格限制。基于 RBTS 可靠性测试系统的仿真结果表明:BESS 可以在不显著消耗循环寿命的情况下,有效提升风力发电机组对发电系统可靠性的贡献,即 BESS 在提高发电系统可靠性的同时,仍有足够的能力用于平滑风电波动<sup>[6-8]</sup>、调度风功率<sup>[9-10]</sup>。

1 电池储能系统及其运行策略

为提高并网风电场对发电系统可靠性的贡献,将 BESS 通过双向功率变换器接入到风电场的汇流母线,构建了如图 1 所示的风储混合电站。图 1 中  $P_w$  为风储混合电站中的风电输出功率, $P_b$  为 BESS 的充、放电功率(电池放电时, $P_b$  为正值,反之为负值), $P_d$  为风储混合电站向发电系统注入的功率。需要指出,本文中  $P_b$  并不局限于风速,因此  $P_d$  可能为负值,即整个风储混合电站可能会从发电系统吸收功率。

BESS 的使用寿命可用其生命周期内总的充、放电循环次数来衡量,其与最大放电深度、环境温度以及充、放电速度均有密切的关系<sup>[3]</sup>。文献[13]指出:当 BESS 放电深度为 20% 时,寿命为 4 200 次充、放电循环;当其放电深度增加到 80% 时,寿命下降为 2 000 次充、放电循环。此外,过大的放电深度可能对 BESS 造成永久性的伤害,并显著降低其使用寿命<sup>[14]</sup>。因此,参照美国加州奇诺 BESS 试验工程的成功经验,本文 BESS 的最大放电深度设为 80%,与之对应的 BESS 荷电率(SOC)为 0.2。此外,为避免过快的充、放电速度对 BESS 造成伤害,利用功率变换器对 BESS 的充、放电功率进行严格控制。若电池在  $t$  时刻处于放电状态,为避免过度放电,其最大允许放电功率为

$$P_{bd,t} = \min \left[ P_{bm}, \frac{(S_{t-1} - 0.2)\eta E_b}{T} \right] \tag{1}$$

若  $t$  时刻电池处于充电状态,为避免过度充电,其最大充电功率为

$$P_{bc,t} = \min \left[ P_{bm}, \frac{(1 - S_{t-1})E_b}{\eta T} \right] \tag{2}$$

式中: $P_{bm}$ ——BESS 的最大充、放电功率; $S_{t-1}$ —— $t-1$  时刻的荷电率; $E_b$ ——BESS 的容量; $\eta$ ——BESS 的充、放电效率; $T$ ——时间间隔。

BESS 的运行策略为:当发电系统可用发电容量(包含风电)大于负荷需求时,BESS 充电;当发电系统可用发电容量小于负荷需求时,BESS 放电,以减小发电系统失负荷风险。由于 BESS 是一种昂贵的储能装置,为充分利用其有限的循环寿命,运行中应严格禁止 BESS 经历不完整的充、放电循环。即 BESS 充电时,必须

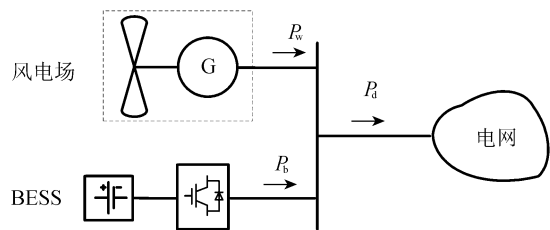


图 1 风储混合电站示意图  
Fig. 1 BESS incorporated into wind farm

充电至满充状态(对应的SOC为1.0);而BESS的放电时,必须放电至设定的最大放电深度(对应的SOC为0.2)。BESS的运行策略见图2。假定某时刻负荷需求大于可用发电容量,此时BESS应放电并承担部分负荷,从而减少切负荷量,降低系统风险。但若此时BESS正处在充电状态,且为避免不完整的充、放电循环,BESS便不能放电。显然,这一运行策略会影响BESS对发电系统可靠性的贡献。

2 常规机组及风电场的可靠性模型

2.1 常规机组可靠性模型

常规机组采用双状态模型描述,即正常运行状态和故障停运状态。机组的可用容量由其运行状态决定,即正常运行时,可用容量为其额定容量;而故障停运时,可用容量为零。机组*i*的运行持续时间 $t_{i1}$ 与检修时间 $t_{i2}$ 均服从指数分布<sup>[15]</sup>,即故障率 $\lambda_i$ 和修复率 $\mu_i$ 均为常数。因此,对各机组的持续运行时间和检修时间进行抽样的公式分别为

$$t_{i1} = - \frac{\ln U}{\lambda_i} \tag{3}$$

$$t_{i2} = - \frac{\ln U}{\mu_i} \tag{4}$$

式中*U*为区间[0,1]上服从均匀分布的随机数。本文假定各常规机组的初始状态均为正常状态。基于各常规机组在模拟周期内的时序运行状态抽样结果,可求得各常规机组在模拟周期内各时段总的可用发电容量。

2.2 风电场可靠模型

假定风电场由*N*台容量为*P<sub>r</sub>*的风力发电机组(WTG)组成,各机组经汇流、升压后接入电网。WTG的切入、额定及切出风速分别为*V<sub>q</sub>*、*V<sub>r</sub>*及*V<sub>o</sub>*,当WTG轮毂高度处的风速为*V*时,其输出功率为<sup>[16]</sup>

$$P = \begin{cases} 0 & 0 \leq V < V_q \text{ 或 } V_o < V \\ P_r \frac{V - V_q}{V_r - V_q} & V_q \leq V < V_r \\ P_r & V_r \leq V < V_o \end{cases} \tag{5}$$

与常规机组不同,WTG的输入能源不可控,其可用发电容量主要由随机风速确定。因此,在可靠性分析中可忽略WTG本身的随机故障对风电场可用容量的影响,即假定WTG是完全可靠的理想发电机。此外,在可靠性分析中一般认为风电场各WTG的输出功率近似相同,即整个风电场的输出功率为

$$P_w = NP \tag{6}$$

由于*V*难以预测,因此用Weibull分布<sup>[16-17]</sup>描述其概率分布:

$$V = c(-\ln U)^{1/k} \tag{7}$$

其中

$$k = \left( \frac{\sigma_w}{E_w} \right)^{-1.086} \qquad c = \frac{E_w}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)}$$

式中:*k*——形状参数,代表风速频谱特性,无量纲;*c*——尺度参数,反映平均风速大小,m/s;*E<sub>w</sub>*、 $\sigma_w$ ——WTG轮毂高度处风速的平均值和标准差; $\Gamma$ ——伽马函数。参数*k*、*c*均可由风速统计数据获得。

根据式(7)对*V*进行抽样后,由式(5)(6)可计算出对应风电输出功率的抽样值。

3 基于SMCS的发电系统可靠性分析

BESS的充、放电模型与常规机组可用发电容量序列均为时序模型,故本文采用SMCS技术对包含BESS与风力发电机组的发电系统1a内的运行情况进行模拟,并在此基础上分析发电系统的可靠性,流程如图3所示。为保证模拟的精度,在研究周期内需要对发电系统的运行状况进行足够次的模拟,设模拟次数为*n*(本文设定的最大模拟次数为10<sup>6</sup>次),并在此基础上统计发电系统的可靠性指标。

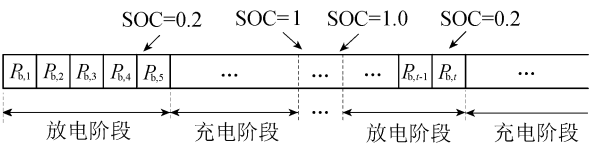


图2 BESS运行策略

Fig. 2 Operation strategy of BESS

4 算例分析

以 RBTS 可靠性测试系统(由 11 台常规机组组成,总装机容量 240 MW、最高负荷 185 MW)<sup>[2]</sup>为算例,研究 BESS 接入对发电系统的可靠性的影响。首先,对 RBTS 基本测试系统的可靠性进行模拟,得到可靠性指标  $E_{LOLE}$  为 1.06 h/a,  $E_{LOEE}$  为 9.43 MW · h/a。因此, RBTS 基本测试系统的可靠性水平很高。

假定 RBTS 测试系统的最高负荷由 185 MW 增至 210 MW,由于负荷水平的增加,测试系统的可靠性指标  $E_{LOLE}$  与  $E_{LOEE}$  分别增至 7.39 h/a 与 82.76 MW · h/a。为确保发电系统的可靠性,必须新增发电容量。当新增发电容量为 10 MW 的燃气机组(GTG)<sup>[2]</sup>时,测试系统可靠性指标的变化情况如表 1 所示。由表 1 得, GTG 可有效地应对负荷增长,确保发电系统的可靠性。当 GTG 新增容量为 30 MW 时(3 台 GTG),系统的可靠性水平与 RBTS 基本测试系统相当。

假定单台 WTG 的额定容量为 2 MW,其切入风速、额定风速和切出风速分别为 3 m/s, 12 m/s 和 22 m/s。风电场的风况数据采用江苏响水风电场的实测数据, WTG 轮毂高度处的年平均风速为 6.68 m/s,标准差为 3.61 m/s。当新增发电容量为 WTG 时,测试系统可靠性的变化趋势如表 2 所示。

从表 2 可以看出,作为一种间歇性能源,WTG 对发电系统可靠性的贡献远不如常规机组。当 WTG 新增容量增至 280 MW 时,  $E_{LOEE}$  和  $E_{LOLE}$  的数值分别为 15.53 MW · h/a 和 1.39 h/a,仍显著低于 RBTS 基本测试系统的可靠性水平。当 WTG 装机容量从 0 MW 增至 160 MW 时,对应的  $E_{LOEE}$  和  $E_{LOLE}$  数值分别下降 65.31 MW · h/a 和 5.81 h/a;而当 WTG 装机容量进一步增至 280 MW 时,对应的  $E_{LOEE}$  和  $E_{LOLE}$  数值仅分别下降 2.1 MW · h/a 和 0.19 h/a。即 WTG 对发电系统可靠性的贡献呈现出“饱和”效应,由此可推断,即使继续增加 WTG 装机容量也不能有效提高发电系统的可靠性。因此,在负荷增长的情况下,仅靠 WTG 不足以确保发电系统的可靠性。

为改善 WTG 对发电系统可靠性的贡献,假定容量为 40 MW · h 的 BESS 接入到风电场汇流母线(该 BESS 最大充、放电功率为 10 MW),且 BESS 按照第 1 节提出的运行策略运行。不同新增 WTG 装机容量下测试系统的可靠性水平如表 3 所示。从表 3 可以看出,当新增 WTG 装机容量为 160 MW 时,发电系统的可靠性指标  $E_{LOEE}$  与  $E_{LOLE}$  分别降至 10.73 MW · h/a 和 0.97 h/a,基本达到了 RBTS 基本测试系统的可靠性水平。

当 BESS 容量从 40 MW · h 增至 80 MW · h 时(BESS 最大充、放电功率亦由 10 MW 增至 20 MW),不同 WTG 装机容量下测试系统的可靠性水平如表 3 所示。此时,当新增 WTG 装机容量为 100 MW 时,发电系统

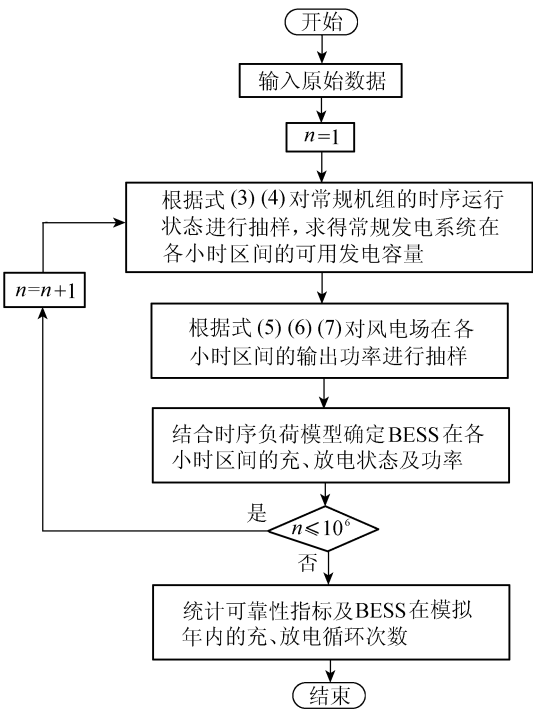


图 3 SMCS 流程  
Fig. 3 Flowchart of SMCS

表 1 GTG 对测试系统可靠性的贡献  
Table 1 Reliability contribution of GTG

| 新增 GTG 装机<br>容量/MW | $E_{LOLE}/$<br>(h · a <sup>-1</sup> ) | $E_{LOEE}/$<br>( (MW · h) · a <sup>-1</sup> ) |
|--------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 0                  | 7.39                                  | 82.76                                         |
| 10                 | 3.55                                  | 38.39                                         |
| 20                 | 1.70                                  | 17.07                                         |
| 30                 | 0.76                                  | 7.20                                          |

表 2 WTG 对测试系统可靠性的贡献  
Table 2 Reliability contribution of WTG

| 新增 WTG 装机<br>容量/MW | $E_{LOLE}/$<br>(h · a <sup>-1</sup> ) | $E_{LOEE}/$<br>( (MW · h) · a <sup>-1</sup> ) |
|--------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 0                  | 7.39                                  | 82.76                                         |
| 10                 | 4.83                                  | 51.32                                         |
| 20                 | 3.24                                  | 33.43                                         |
| 30                 | 2.27                                  | 23.03                                         |
| 40                 | 1.67                                  | 16.85                                         |
| 50                 | 1.29                                  | 13.02                                         |
| 60                 | 1.04                                  | 10.54                                         |
| 70                 | 0.87                                  | 8.86                                          |

的  $E_{LOEE}$  和  $E_{LOLE}$  分别降至  $10.10 \text{ MW} \cdot \text{h/a}$  和  $0.83 \text{ h/a}$ ,基本达到了 RBTS 基本测试系统的可靠性水平。

表3 含 BESS 的 WTG 对测试系统可靠性的贡献( $E_b=40 \text{ MW} \cdot \text{h}, E_b=80 \text{ MW} \cdot \text{h}$ )  
Table 3 Reliability contribution of WTG with BESS ( $E_b=40 \text{ MW} \cdot \text{h}, E_b=80 \text{ MW} \cdot \text{h}$ )

| 新增 WTG<br>装机容量/MW | $E_b=40 \text{ MW} \cdot \text{h}$                         |                                                                     |                                           | $E_b=80 \text{ MW} \cdot \text{h}$                         |                                                                     |                                           |
|-------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
|                   | $E_{LOLE}/$<br>( $\text{h} \cdot \text{a}$ ) <sup>-1</sup> | $E_{LOEE}/$<br>( $(\text{MW} \cdot \text{h}) \cdot \text{a}^{-1}$ ) | BESS 充放电<br>次数/(次 $\cdot \text{a}^{-1}$ ) | $E_{LOLE}/$<br>( $\text{h} \cdot \text{a}$ ) <sup>-1</sup> | $E_{LOEE}/$<br>( $(\text{MW} \cdot \text{h}) \cdot \text{a}^{-1}$ ) | BESS 充放电<br>次数/(次 $\cdot \text{a}^{-1}$ ) |
| 20                | 3.17                                                       | 38.83                                                               | 1.82                                      | 2.69                                                       | 35.43                                                               | 1.32                                      |
| 40                | 2.05                                                       | 24.34                                                               | 1.97                                      | 1.63                                                       | 21.38                                                               | 1.31                                      |
| 60                | 1.60                                                       | 18.11                                                               | 1.98                                      | 1.17                                                       | 14.96                                                               | 1.33                                      |
| 80                | 1.32                                                       | 15.01                                                               | 1.93                                      | 0.95                                                       | 11.85                                                               | 1.30                                      |
| 100               | 1.17                                                       | 13.22                                                               | 1.87                                      | 0.83                                                       | 10.10                                                               | 1.26                                      |
| 120               | 1.08                                                       | 12.08                                                               | 1.82                                      |                                                            |                                                                     |                                           |
| 140               | 1.02                                                       | 11.29                                                               | 1.78                                      |                                                            |                                                                     |                                           |
| 160               | 0.97                                                       | 10.73                                                               | 1.75                                      |                                                            |                                                                     |                                           |

以上分析表明,按照第1节提出的技术方案将 BESS 接入到风电场,可显著增强 WTG 对发电系统的可靠性的贡献。且 BESS 容量越大,这一作用越明显。需要指出,电池是一种昂贵的储能设备,仅用其来提高 WTG 对发电系统的可靠性的贡献度不经济。从表3可以看出,由于严格限制了 BESS 不完整的充、放电循环,因此,模拟年内电池的平均充、放电次数均不超过2次,且随 BESS 容量的增加而下降。BESS 在其使用周期内可用的充、放电总数往往可达几百乃至上千次(如美国加州奇诺 BESS 试验工程在10a内的总充、放电循环次数高达2000次),也就是说 BESS 完全有能力在提高发电系统可靠性的同时完成其他的功能,如用于平滑风功率的波动<sup>[6-8]</sup>、实现风功率的可调度<sup>[9-10]</sup>等。当然,如何协调 BESS 完成这些功能,是一个值得深入研究的课题,作者将在未来的研究工作中加以考虑。

5 结 语

为提高 WTG 对发电系统可靠性的贡献,将 BESS 接入到风电场的汇流母线。BESS 在发电系统可用发电容量大于负荷需求时充电,在发电系统可用发电容量小于负荷需求时放电,以减小发电系统失负荷风险、提高发电系统的可靠性。为延长 BESS 的使用寿命,BESS 在运行过程中严格限制不完整的充、放电循环。

利用 SMCS 技术评估 BESS 对发电系统可靠性的影响,结果显示,BESS 可在不显著消耗其循环寿命的前提下有效提高风力发电机组对发电系统可靠性的贡献。

参考文献:

[ 1 ] BILLITION R, BAI G. Generating capacity adequacy associated with wind energy [J]. IEEE Transactions on Energy Conversions, 2004, 19(3): 641-646.

[ 2 ] BILLITION R, KUMAR S, CHOWDHUR N, et al. A reliability test system for educational purpose: basic data [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1989, 4(3): 1238-1244.

[ 3 ] DIVYA K C, Ø TERGARRD J. Battery energy storage technology for power systems: an overview [J]. Electrical Power Systems Research, 2009, 79(4): 511-520.

[ 4 ] PARKER C D. Lead-acid battery energy-storage systems for electricity supply networks [J]. Journal of Power Sources, 2001, 100(1): 18-28.

[ 5 ] ALBADI M H, EL-SAADANDY E F. Overview of wind power intermittency impacts on power systems [J]. Electrical Power Systems Research, 2010, 80(6): 627-632.

[ 6 ] 丁明, 徐宁舟, 毕锐. 用于平抑可再生能源功率波动的储能电站建模及评价[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(2): 66-72. (DING Ming, XU Ningzhou, BI Rui. Modeling of BESS for smoothing renewable energy output fluctuations [J]. Automation of Electrical Power Systems, 2011, 35(2): 66-72. (in Chinese))

[ 7 ] TELEKE S, BARAN M E, HUANG A Q, et al. Control strategies for battery energy storage for wind farm dispatching [J]. IEEE Transactions on Energy Conversation, 2009, 24(3): 725-732.

[ 8 ] TELEKE S, BARAN M E, BHATTACHARYA S, et al. Optimal control of battery energy storage for wind farm dispatching [J]. IEEE Transactions on Energy Conversation, 2010, 25(3): 787-794.

[ 9 ] LI Qiang, CHOI S S, YUAN Yue, et al. On the determination of battery energy storage capacity and short-term power dispatch

of a wind farm [J]. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2011, 2(1): 148-158.

[10] YAO D L, CHOI S S, TSENG K J, et al. A statistical approach to the design of a dispatchable wind power-battery energy storage system [J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2009, 24(4): 916-925.

[11] BAGEN B, BILLITION R. Incorporating well-being considerations in generating systems using energy storage [J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2005, 20(1): 225-230.

[12] HU P, CARKI R, BILLITION R. Reliability evaluation of generating systems containing wind power and energy storage [J]. IET Generation Transmission and Distribution, 2009, 3(8): 783-791.

[13] SEC Industrial Battery Co. Ltd. Solar Power Battery [EB/OL]. [2012-05-18]. <http://www.amberjac-projects.co.uk/documents>.

[14] CALASANZION D, CASELLI M, GHIOTTO D. Charging of valve-regulated lead/acid batteries under deep cycling applications [J]. Journal of Power Sources, 1995, 53(1):143-147.

[15] 张宏宇, 印永华, 申洪, 等. 基于序贯蒙特卡洛方法的风电并网系统调峰裕度评估[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(1): 32-37. (ZHANG Hongyu, YIN Yonghua, SHEN Hong, et al. Peak-shaving margin evaluation associated with wind power integrated system based on sequential Monte-Carlo simulation [J]. Automation of Electrical Power Systems, 2012, 36(1): 32-37. (in Chinese))

[16] 于晗, 钟志勇, 黄杰波, 等. 考虑负荷和风电出力不确定性的输电系统机会约束规划[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(2): 20-24. (YU Han, ZHONG Zhiyong, HUANG Jiebo, et al. A chance constrained transmission network expansion method associated with load and wind farm variations [J]. Automation of Electrical Power Systems, 2009, 33(2): 20-24. (in Chinese))

[17] 李强, 袁越, 李振杰, 等. 考虑峰谷电价的风电-抽水蓄能联合系统能量转化效益研究[J]. 电网技术, 2009, 33(6): 13-18. (LI Qiang, YUAN Yue, LI Zhenjie, et al. Research on energy shifting benefits of hybrid wind power and pumped hydro storage system considering peak-valley electricity price [J]. Power System Technology, 2009, 33(6): 13-18. (in Chinese))

《水利经济》征订启事

中国科技核心期刊 RCCSE 中国核心学术期刊  
全国水利系统优秀期刊 全国农业系统优秀期刊

(邮发代号 28-252, CN32-1165/F, 双月刊)

《水利经济》是由河海大学与中国水利经济研究会共同主办的以技术性为主、兼顾学术性和管理性的科技期刊。《水利经济》1983 年创刊,是全国唯一的水利经济研究方面的专业性期刊。

主要刊登内容:水经济学理论;水权、水市场与水价研究;水利工程建设中的经济效益、社会效益和环境效益评价与分析,水利工程经济评价和财务评价,水利工程资本运作与费用分摊研究;水利工程管理研究,以及水利事业和水利建设的管理体制体制改革研究;水库移民经济研究;农业经济与管理研究;生态与环境经济研究,生态建设领域中的水资源可持续发展研究等。

主要读者对象:从事水经济、水利水电技术、经济管理、生态、环境、农业经济及管理工作的有关工程技术人员、科研人员、管理人员以及高等院校师生。

订阅办法:读者可通过邮局订阅,也可直接向编辑部订阅。2013 年每期定价 10 元,全年 6 期共计 60 元。

编辑部地址:南京市西康路 1 号 河海大学《水利经济》编辑部

邮政编码:210098

电话/传真:025-83786350

E-mail:jj@ hhu. edu. cn

网址:[http://kkb.hhu.edu.cn/web/indexjj.asp?d\\_id=43](http://kkb.hhu.edu.cn/web/indexjj.asp?d_id=43)