

包含钠硫电池储能的微网系统经济运行优化

丁明, 张颖媛, 茆美琴, 刘小平, 徐宁舟

(合肥工业大学教育部光伏系统工程研究中心, 安徽省 合肥市 230009)

摘要: 微网有利于充分发挥可再生能源发电等分布式能源系统的效益, 实现需求侧管理及现有能源的最大化利用, 但与此同时, 可再生能源发电所具有的间歇性使得微网系统承受扰动的能力相对较弱。储能技术的应用将对微网系统的稳定运行控制发挥重要作用。以钠硫电池为储能研究对象, 建立了包含钠硫电池储能的微网系统经济运行优化模型, 并以一个微网系统为例, 分析讨论了多种因素对系统经济运行优化结果的影响, 验证了所建立模型的合理性。

0引言

近年来, 为了充分发挥可再生能源发电等分布式能源系统的效益, 微网的集成与控制成为研究热点, 这也是智能电网建设中的一个重要组成部分^[1-10]。

微网作为一种新型能源网络化供应与管理技术, 便利了分布式能源(distributed energy resource, DER)系统的接入, 同时可实现需求侧管理及现有能源的最大化利用。它具有灵活的运行方式和可调度性能, 可实现自我控制、保护和管理等自治功能。

由于具有间歇性的可再生能源发电一般占有较大比例, 微网系统承受扰动的能力相对较弱。为了充分发挥可再生能源发电的优势, 平衡其随机波动, 维护系统稳定, 改善电能质量, 就必须同时在系统中配备一定容量的同步发电单元或

储能

单元。储

能单元以其能量可

双向流动、可兼顾容量和功率需求以

及优异的环保性能等特性受到了广泛的关注^[11-15]

。它们可用于平抑负荷波动、进行削峰填谷; 与风力发电、光伏发电等可再生能源发电技术相配合, 以稳定系统的功率输出, 增强可再生能源发电系统的可调度性能; 保证电能质量, 提高用户侧可靠性; 提供频率调节、瞬时响应备用、旋转备用等辅助服务功能; 可通过参与电力市场, 利用峰谷电价差异使储能系统拥有者获得一定的经济收益; 与此同时可提高电网的输配电能力、延缓电网升级扩建、降低电网投资成本等。

微网系统的经济运行优化是微网的集成控制及能量管理研究中的一个重要内容。国外的相关科研组织对此已取得一定的研究成果, 例如: 欧盟的研究划分较为细致, 分别针对集中控制式和分散控制式微网系统展开研究; 日本在工程应用方面较为领先, 开发了相

应的能量管理软件并已将其在所建的示范工程中加以应用^[2-5]

。而国内关于微网的研究之前主要是集中于单元级的风力发电、光伏发电、(微型)燃气轮机等分布式发电(distributed generator, DG)单元和超级电容、超导、飞轮等分布式储能单元。微网系统级的能量管理研究近来也开始受到关注, 例如文献[16]建立了包含DG单元的微网系统有功优化调度模型, 但对于建立完善的微网系统经济运行优化模型及理论体系仍有待进一步研究。本文在对比多种储能技术特性的基础上, 选取适用于电力系统应用、适应范围广且已实现量产的钠硫电池为研究对象, 提出包含钠硫电池储能的微网系统经济运行优化模型, 并以一个包含钠硫电池储能的微网系统为例, 讨论了多种因素对系统经济运行优化结果的影响。

1钠硫电池储能系统

1.1钠硫电池的特点

依据储能技术的特性, 可将其划分为2种: 功率密度高、响应迅速、可进行频繁充放电的功率型储能技术, 如超导储能、飞轮储能、超级电容储能等; 能量密度高、可进行大规模能量存储的能量型储能技术, 如抽水蓄能、压缩空气储能、蓄电池储能等。本文主要关注适于微网系统应用的能量型储能技术。抽水蓄能、压缩空气储能2种技术受地理和资源因素限制比较强, 而具有模块化、响应快、商业化程度高等特点的蓄电池储能应用范围最为广泛。随着技术革新和新型电池研制成功, 电池的效率、功率、能量和寿命得到了显著提高^[11-13]。

在蓄电池储能技术中，铅酸电池以其低廉的成本、成熟的技术而广为应用，但其空间需求较大、效率受环境温度影响较大、放电深度和循环寿命均有待提高、存在有毒物质；镍镉电池成本较高，与铅酸电池相比，除了体积小之外没有其他明显优势；锂电池能量密度高、效率高，在中小功率应用中具有优越的性能，但不适合大容量需求的应用场合；全钒等氧化还原液流电池的功率输出和能量储存部分是相互独立的，循环寿命长，适合大容量安装，但其能量密度较低；钠硫电池具有比能量高、适应面宽且已实现批量生产等优势^[11-13,15,17-19]。本文选取钠硫电池为研究对象。

钠硫电池是一种可满足从小时级的平抑负荷波动到秒级的不间断电源(uninterrupted power supply, UPS)应用范围内的多功能储能设备。

NGK和TEPCO公司已在世界范围内兴建了许多示范工程^[15,17,20]。钠硫电池拥有许多令人感兴趣的特性^[18-22]，主要有：

- 1) 能量密度高、空间需求小，与铅酸电池相比，能量密度是其3倍，而空间需求仅是其1/3；
- 2) 适应范围广，既可短时大功率放电，也可以较小的功率满足较长时间的需求；
- 3) 充放电效率高，很少或没有自放电；
- 4) 耐久性佳，具有长达15年的运行寿命，在放电深度为100%的情况下充放电循环次数可达2500次，或者在放电深度为90%的情况下充放电循环次数可达到4500次；
- 5) 无废气排放和噪音，具有优异的环保性能；
- 6) 全密封结构，安全性高，维修处理方便。

同时，钠硫电池也存在一定的缺点：它是一种高温运行设备，需要维持300℃左右的温度；所使用的电解质为 β -氧化铝陶瓷，这种物质目前全球只有NGK绝缘公司可批量生产，存在一定的安全隐患。

1.2 钠硫电池储能系统的功能

钠硫电池模块可以经串并联方式组合以满足大容量、高功率的需求。通常，钠硫电池储能系统由钠硫电池模块、功率转换系统和出口变压器组成。美国电力公司将钠硫电池储能系统的功能分为：电能质量(power quality, PQ)和削峰(peak-load shaving, PS)2种应用模式^[17]。

顾名思义，PQ模式指短时间内的功率调整，以保证电能质量；PS模式指一天或更长时间周期内的削峰填谷。PQ模式下，电池可以成倍地输出额定功率，输出功率倍数(即钠硫脉冲因数)可高达5；但是，输出功率越大，能量损失也将越大。PS模式下，电池将以较小的恒定功率输出。目前，诸多钠硫电池储能示范工程的运行，是由NGK公司预设好多种运行模式，用户可以根据具体情况进行选择。

1.3 钠硫电池储能系统的特性

钠硫电池储能系统存在放电状态 $u_{\text{disch}}(t)$ 、备用状态 $u_{\text{standby}}(t)$ 、最大充电功率充电状态 $u_{\text{ch}}(t)$ 、半功率充电状态 $u_{\text{sup-ch}}(t)$ 4种运行状态^[15,17-22]。当充电快结束时,须用一半的最大充电功率对电池进行短时充电,这种状态本文简称为半功率充电状态 $u_{\text{sup-ch}}(t)$ 。

$$u_{\text{disch}}(t)、u_{\text{standby}}(t)、u_{\text{ch}}(t)、u_{\text{sup-ch}}(t) \in \{0,1\}$$

钠硫电池通过变换器可独立控制有功和无功输出。如果变换器的容量足够大,那么钠硫电池的瞬时放电功率可达到额定功率的1~5倍。但基于电池内部温度,其输出功率有一定的限制,该限制称为钠硫脉冲限制(N_{pulse})。电池的可持续放电时间(T_{dur})与 N_{pulse} 有关,其关系可拟合为式(1)^[22]。

$$T_{\text{dur}}(t) = -3.4497N_{\text{pulse}}^3(t) + 21.5962N_{\text{pulse}}^2(t) - 45.7961N_{\text{pulse}}(t) + 34.7117 \quad (1)$$

电池内部所存储的能量 E_{bat} 的表达式为

$$E_{\text{bat}}(t) = E_{\text{bat}}(t - \delta) - E_{\text{disch}}(t)/\eta_{\text{bat}} + \eta_{\text{bat}}[E_{\text{ch}}(t) + E_{\text{sup-ch}}(t)] \quad (2)$$

式中:令 $t = t_0 + \kappa\delta$, $t_0 \leq t \leq t_0 + T$, t_0 为调度周期的初始时刻, κ 为非负整数, δ 为时间间隔,且令调度周期 $T = N_T\delta$, N_T 为正整数; E_{disch} 为电池放电所释放出的能量; E_{ch} 为最大充电功率充电时向电池提供的能量; $E_{\text{sup-ch}}$ 为半功率充电时向电池提供的能量; η_{bat} 为电池的充放电效率。 E_{disch} 、 E_{ch} 、 $E_{\text{sup-ch}}$ 除与电池的放电功率、最大充电功率有关外,还与电池的运行状态相关。

2含钠硫电池储能的微网运行优化模型

2.1系统运行控制策略

根据微网与主网间的能量交互方式及微网内DER是否享受优先调度权，可将微网与主网间的交互运行控制策略分为以下3种：

- 1) 优先利用微网内部的DER来满足网内的负荷需求，可以从主网吸收功率，但不可以向主网输出功率；
- 2) 微网内部的DER与主网共同参与系统的运行优化，但仍是可以从主网吸收功率，不可以向主网输出功率；
- 3) 微网可以与主网自由双向交换功率。

对于可再生能源发电系统，虽然环境效益很好，运行成本也很低，但长期以来安装成本较高，使其综合经济效益无法与其他发电形式相竞争。故中国电力行业目前的管理方式是可再生能源发电享受优先调度权和电量被全额收购的优惠。本文的研究亦以此为前提。

2.2系统优化模型

储能单元类型及其运行功能的选择因微网的需求不同、储能单元在系统中所发挥的作用不同而不同。本文针对集中控制式微网系统，对微网级中央控制器所应提供的运行优化功能进行研究，以钠硫电池在系统中实现削峰填谷功能为例，建立了包含钠硫电池储能的微网系统经济运行优化模型。

在某一时间间隔 δ 内，本文作如下假设：负荷需求维持恒定；DG单元的功率输出恒定；微网与主网间的交互功率恒定；电池的运行状态单一，且其充放电功率维持恒定；若微网与主网间的交互电价选取为实时电价，则在 δ 内电价维持恒定。由于所需解决的问题不同，所以 δ 的选取有所区别：若解决问题为离线经济运行优化， δ 可为5min~1h；若解决问题为在线经济运行优化， δ 可为1~5min。

1) 目标函数。

目标1。微网系统的运行成本最低。运行成本中考虑DER的能耗成本、运行管理成本以及微网与主网间的能量交互成本。

$$\min \text{Cost}(P_i) = \int_0^T \sum_{i=1}^N [C_i(P_i) + \text{Cost}(P_i)] + C_{\text{re}}(P_{\text{grid}}) + I_{\text{st}}(P_{\text{grid}}) dt \quad (3)$$

其中:

$$\text{Cost}(P_i) = \int_0^T K_{\text{Ost}} P_i dt \quad (4)$$

$$C_{\text{re}}(P_{\text{grid}}) = \begin{cases} 0, & P_{\text{grid}} < 0 \\ \int_0^T c_p P_{\text{grid}} dt, & P_{\text{grid}} \geq 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$I_{\text{st}}(P_{\text{grid}}) = \begin{cases} \int_0^T c_{\text{st}} P_{\text{grid}} dt, & P_{\text{grid}} < 0 \\ 0, & P_{\text{grid}} \geq 0 \end{cases} \quad (6)$$

式中: i 为系统中 DER 的编号; P_i 为 DER 的有功功率输出; C_{Ost} 为微网系统的运行成本; C_i 为 DER 的能耗成本; C_{re} 为 DER 的运行管理成本; C_{re} 为微网从主网购电的支出; I_{st} 为微网向主网售电的收益; K_{Ost} 为 DER 的运行管理系统; c_p 为微网从主网购电价; c_{st} 为微网向主网售电价; P_{grid} 为微网与主网间的交互功率。

②目标 2。微网系统的折旧成本最低。该目标基于系统的运行成本,并考虑各 DER 的安装成本折旧因素。

$$\min \text{CDEP}(P_i) = \int_0^T \sum_{i=1}^N [C_i(P_i) + \text{Cost}(P_i) + \text{CDEP-DEP}(P_i) + C_{\text{st}}(P_{\text{grid}}) + I_{\text{st}}(P_{\text{grid}})] dt \quad (7)$$

其中:

$$C_{\text{DEP-DEP}} = \int_0^T \frac{C_{\text{ACC}}}{8760 P_i f_{\text{av}}} P_i dt \quad (8)$$

$$C_{\text{ACC}} = C_{\text{DES}} f_{\text{av}} \quad (9)$$

$$f_{\text{av}} = \frac{d(1+d)^L}{(1+d)^L - 1} \quad (10)$$

式中: C_{DEP} 为微网系统的折旧成本; $C_{\text{DEP-DEP}}$ 为 DER 的安装折旧成本; C_{ACC} 为 DER 的安装成本年平均费用; P_i 为 DER 的额定功率; f_{av} 为容量因子; C_{DES} 为 DER 安装成本; f_{av} 为资本回收系数; d 为利率或折旧率; L 为 DER 寿命。

③目标 3。微网系统的环境效益最高,即污染物排放治理所需费用最少。

$$\min C_{\text{ENV}}(P_i) = \int_0^T \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K \beta_k (\sum_{i=1}^N \alpha_{ik} P_i + \alpha_{\text{grid}} P_{\text{grid}}) dt \quad (11)$$

式中: C_{ENV} 为微网系统的污染物排放治理成本; k 为所排放污染物(包含 CO_2 , SO_2 , NO_x 等)的类型编号; α_{ik} 为不同电能生产方式所对应的各种污染物排放系数; β_k 为治理污染物 k 所需费用。

④目标 4。微网系统的综合效益最高,即考虑微网系统的折旧成本和环境治理成本的综合成本最小。

$$\min C_{\text{COMP}}(P_i) = C_{\text{DEP}}(P_i) + C_{\text{ENV}}(P_i) \quad (12)$$

式中 C_{COMP} 为微网系统的综合成本。

2) 约束条件。

①系统运行时能量供需平衡。

$$\sum_{i=1}^N \int_{t-1}^t P_i dt + E_{\text{bat}}(t) - E_{\text{bat}}(t-1) - E_{\text{load}}(t) = \int_{t-1}^t P_{\text{dg}} dt - \sum_{j=1}^{N_g+N_{\text{dg}}} \int_{t-1}^t P_{\text{dg}} dt \quad (13)$$

$$N_g + N_{\text{dg}} = N + 1 \quad (14)$$

式中: P_i 为可调度型 DG 单元的功率输出以及微网与主网间交互功率可调时的传输功率; P_{dg} 为不可调度型 DG 单元的功率输出以及微网与主网间交互功率不可调度时的传输功率; P_{dg} 为负荷需求功率; N_g 为可调度型 DG 单元数量; N_{dg} 为不可调度型 DG 单元数量。

②DG 单元功率输出限值为

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max} \quad (15)$$

③根据钠硫电池储能单元的运行特性^[15,17-22],可将其在系统中实现削峰填谷功能时所需满足的约束条件描述如下:

a) 一个调度周期初始末状态的电池能量约束为

$$E_{\text{bat}}(0) = E_{\text{bat}}(T) \quad (16)$$

若考虑电池储能技术参与系统的运行优化过程,则其能量状态需满足在调度周期初始末相等的约束。

b) 运行状态约束为

$$u_{\text{bat}}(t) + u_{\text{mabg}}(t) + u_{\text{ab}}(t) + u_{\text{ap-ab}}(t) = 1 \quad (17)$$

钠硫电池储能技术的 4 种运行状态是互斥的。

c) 脉冲因数约束为

$$0.8 \leq N_{\text{pulse}}(t) \leq 1 \quad (18)$$

$$N_{\text{pulse}}(t) = N_{\text{pulse}}(t + \delta) \quad (19)$$

为实现削峰填谷功能,根据其可持续放电时间与脉冲因数特性,可将钠硫电池储能的脉冲因数取为上述限值。

d) 放电功率约束为

$$0 \leq P_{\text{bat-dis}}(t) \leq N_{\text{pulse}}(t) P_{\text{max}} \quad (20)$$

e) 充电功率约束为

$$0 \leq P_{\text{ch}}(t) \leq 1.2 P_{\text{max}} \quad (21)$$

$$P_{\text{ch}}(t) = P_{\text{ch}}(t + \delta) \quad (22)$$

$$P_{\text{ap-ab}}(t) = P_{\text{ap-ab}}(t + \delta) = 0.5 P_{\text{ch}}(t) \quad (23)$$

对钠硫电池进行最大功率充电时,所选取的充电功率一般略大于额定功率,取为比额定功率高 20% 的数值。

f) 电池的能量状态约束为

$$E_{\text{bat,min}} \leq E_{\text{bat}}(t) \leq E_{\text{bat,max}} \quad (24)$$

在电池的充放电循环过程中,电池内部所存储的能量需在其最大可承受范围之内。

g) 一个调度周期内电池的充放电次数约束为

$$\sum_{k=0}^{N_g} |u_{\text{bat}}[t_0 + (k+1)\delta] - u_{\text{bat}}(t_0 + k\delta)| \leq \lambda_1 \quad (25)$$

$$\sum_{k=0}^{N_g} |u_{\text{ch}}[t_0 + (k+1)\delta] - u_{\text{ch}}(t_0 + k\delta)| \leq \lambda_2 \quad (26)$$

$$\sum_{k=0}^{N_g} |u_{\text{ap-ab}}[t_0 + (k+1)\delta] - u_{\text{ap-ab}}(t_0 + k\delta)| \leq \lambda_3 \quad (27)$$

式中充放电次数 λ_1 、 λ_2 的具体取值可根据负荷预测情况、钠硫电池储能的寿命及其在系统运行中所发挥的作用等因素综合考虑而确定。

⑤微网与主网间能够允许交互的最大容量约束。这可能是它们之间所达成的供求协议或者联络线的物理传输容量限值。

$$P_{\text{min}}^{\text{trans}} \leq P_{\text{trans}} \leq P_{\text{max}}^{\text{trans}} \quad (28)$$

3算例分析

3.1系统运行时选取的控制策略不同

本文在保证系统安全、综合考虑系统各组成部分间比例的基础上，确定选取一个包含光伏发电(photovoltaic, PV)、风力发电(wind turbine, WT)、燃料电池(fuel cell, FC)和同步发电单元(以柴油机(diesel engine, DE)为例)4种分布式发电单元，以及钠硫电池储能单元(Na/S)的微网系统为例，讨论了多种因素对其经济运行优化结果的影响。微网与主网间联络线(Grid)的物理传输容量上限为20kW，各DER单元的相关信息如表1—2所示。其余计算分析过程所需数据见附录A。

表 1 微网中的 DG 子系统

Tab. 1 DG subsystems of a microgrid

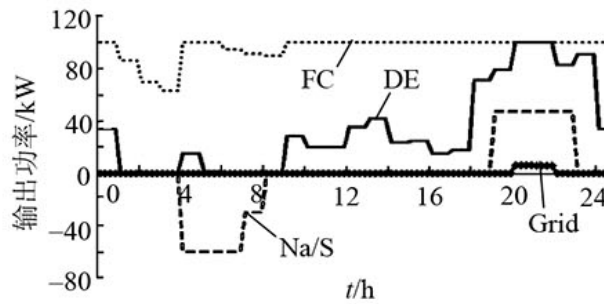
DER 类型	功率/kW		寿命/a	安装成本/ (万元/(kW))
	下限	上限		
光伏电池	0	20	20	6.650
风力发电	0	40	10	2.375
燃料电池	0	100	10	4.275
柴油发电机	0	100	10	1.600

表 2 钠硫电池储能模块

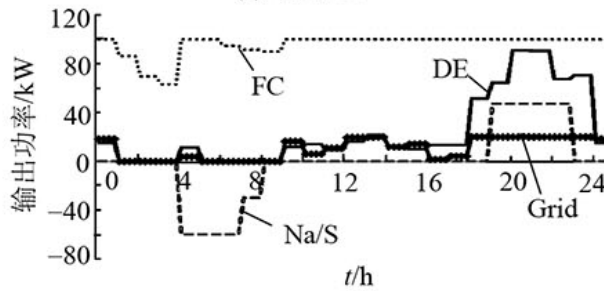
Tab. 2 Na/S battery module

额定功率/kW	额定容量/(kW·h)	寿命/a
50	375	15

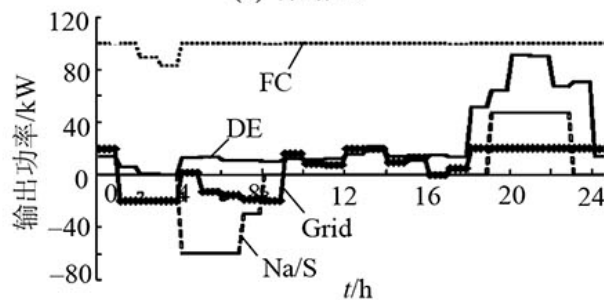
选取目标 1 为优化目标，微网与主网间交互电价取平均电价，微网系统的运行控制采用不同策略时的系统出力优化结果，如图 1 所示。



(a) 策略 1)



(b) 策略 2)



(c) 策略 3)

图 1 目标 1、微网与主网间交互电价取平均电价时的系统出力优化结果

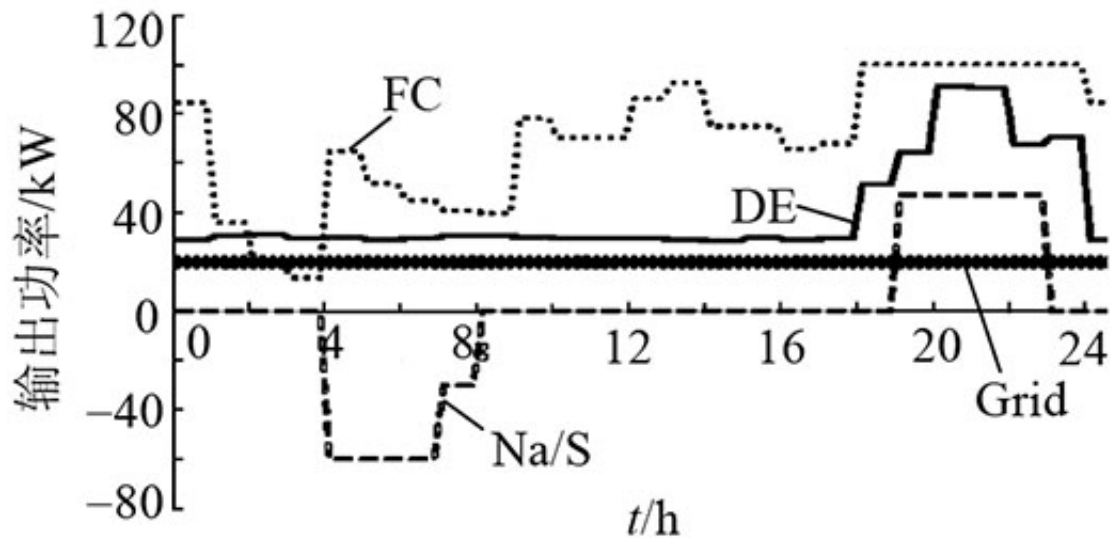
Fig. 1 Optimal results in object 1 using base price

从图中可以看出：微网系统的运行控制采用策略1)时，负荷由微网系统内的DER单元优先供能，仅当所有DER单元以其上限功率输出仍不能满足负荷需求时，主网系统才向微网系统提供能量；采用策略2)时，主网系统与DER单元共同参与系统优化，但微网系统与主网系统间的能量交互是单向的，即能量只能由主网系统向微网系统传输；采用策略3)时，能量在微网系统与主网系统间可双向自由交互。

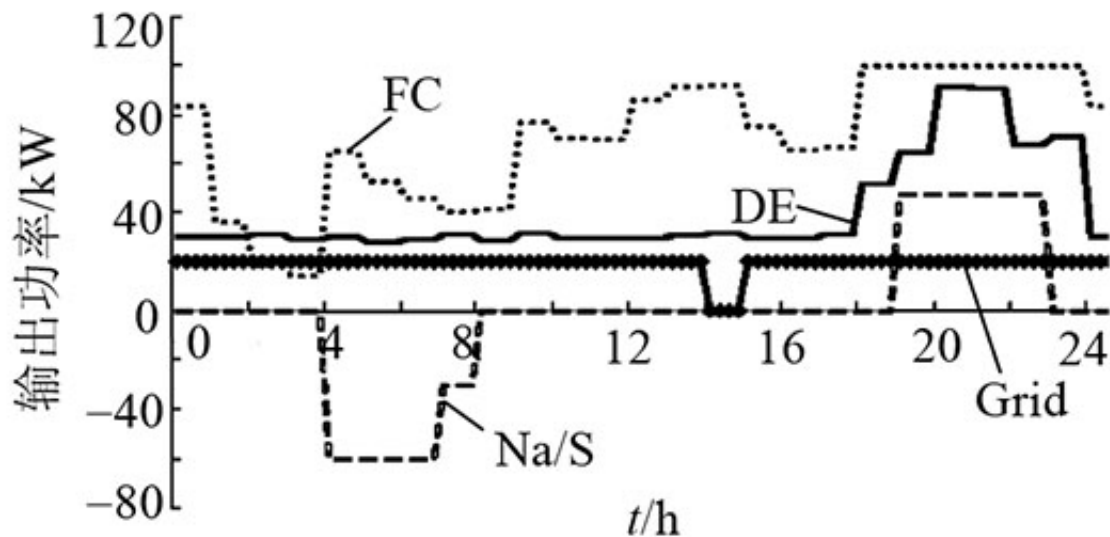
对比负荷需求全部由主网系统提供的方式，采用上述3种策略所需的费用对比情况见附录A表A5，可见：微网系统中的DG单元具有明显的运行成本优势，但是整个系统的发电成本很高，这是由于钠硫电池储能单元的可变运行管理费用很高，以至其占整个系统发电成本的比重高达96%以上；采用策略3)时，在满足负荷需求的基础上，微网系统利用成本较低的DER单元可向主网系统售电，获取收益，较之采用策略1)、策略2)的运行方式，使微网系统的经济效益有所提高；本算例系统中由于柴油发电机的氮氧化物排放严重，且治理成本很高，使得微网系统在采用策略3)提高运行效益的同时，较之策略2)也增加了一定的治污支出；另外，较之负荷需求全部由主网系统提供的方式，DER单元的投入在很大程度上提高了系统的环境效益。

3.2系统运行时选取的电价类型不同

微网系统选取策略2)为运行控制策略，目标2为优化目标，微网与主网间交互电价分别取平均电价和实时电价时，系统的出力优化结果如图2所示。



(a) 微网与主网间交互电价取平均电价



(b) 微网与主网间交互电价取实时电价

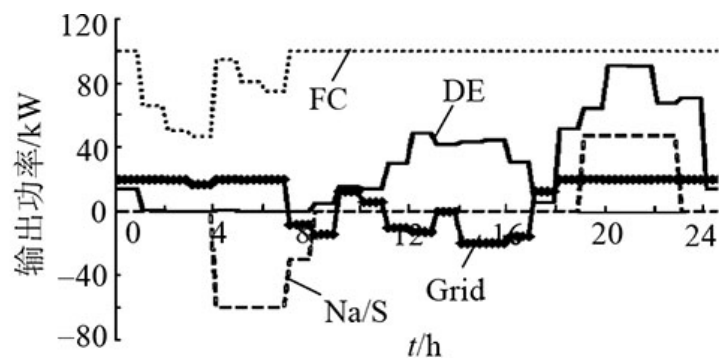
图 2 策略 2)、目标 2 时的系统出力优化结果

Fig. 2 Optimal results of strategy 2) in object 2

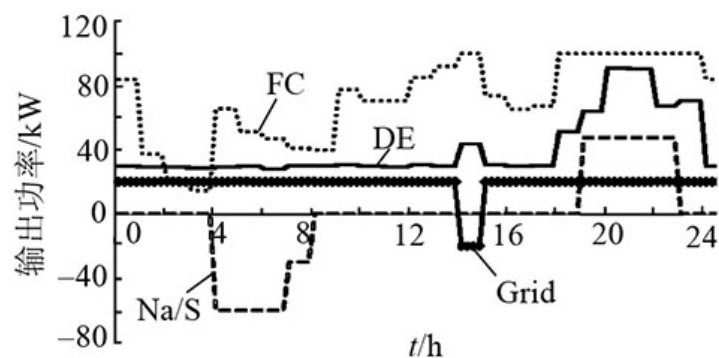
本文计算过程中选取所需平均电价为 $0.5 \text{元}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ ，即主网系统在此情形下的发电成本低于本例中所有的DER单元，故在整个周期之内主网均以联络线的传输容量限值向微网供电，如图2(a)所示，而在图2(b)中，当微网与主网间交互电价取实时电价时，在其电价高于某些DER单元发电成本的时段，主网向微网提供的能量将减少，转而由发电成本较低的DER单元(本例中为FC)增加功率输出。2种情形系统所需的费用对比情况见附录A表A6，可看出微网与主网间交互电价采用实时电价较采用平均电价的情形具有较高的经济效益，钠硫电池储能单元的发电成本在系统总发电成本中所占比重仍很高。

3.3 系统运行时选取的优化目标不同

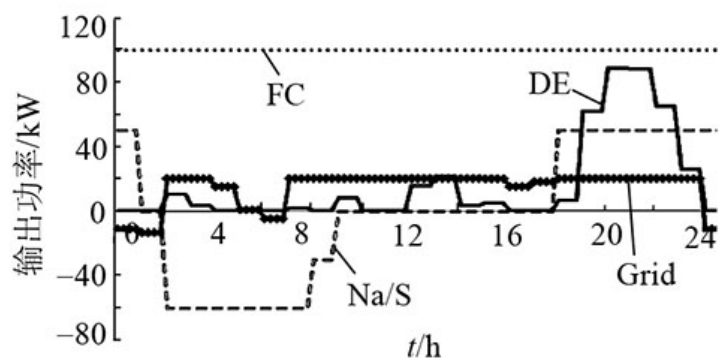
微网系统选取策略3)为运行控制策略，与主网间的交互电价类型取实时电价，采用不同优化目标时，系统的出力优化结果如图3所示，系统所需的费用对比情况见附录A表A7—A8。



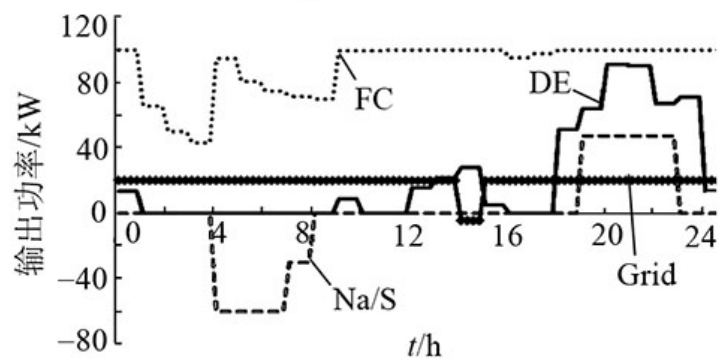
(a) 目标 1



(b) 目标 2



(c) 目标 3



(d) 目标 4

图 3 策略 3、微网与主网间交互电价取实时电价时的系统出力优化结果

Fig. 3 Optimal results in strategy 3 using spot price

从图3、表A7—A8可知:

一方面,系统的运行优化结果因所选取的优化目标不同而各不相同。从图3(a)可知,微网系统中的DG单元在运行成本方面较主网系统具有较大的竞争优势。然而,目前技术不够先进等原因导致DER单元的折旧成本很高,以致图3(b)中在整个周期内,仅除电价特别高的个别时段外,主网系统均以联络线传输容量限值向微网系统提供能量。由于储能单元在运行过程中不排放污染气体,因而图3(c)在仅考虑环境效益的目标3情形下,储能单元的利用率最高,微网系统的经济效益颇为显著,较之负荷需求全部由主网系统提供的运行方式,选取目标3情形下的系统治污成本降低了38.92%。较之目标1、目标2的情形,对于以系统的综合效益最高为优化目标的目标4情形,环境效益的考虑也使得钠硫电池发电成本占系统发电成本的比重有所减小;不过,尽管在运行成本、环境效益方面微网系统有较大优势,但现阶段较高的DER折旧成本和储能运行管理费用使得微网系统的综合效益仍难以与主网系统相抗衡。

另一方面,结合图1—3、附录A[4,17-24]图A1可发现,除仅考虑环境效益的目标3外,钠硫电池储能单元由于其现阶段需要高昂的可变运行管理费用,使得只有在其他DER单元以最大限值输出仍无法满足负荷需求的情形下(19—22时段),它才进行能量的释放。

此外,运行控制策略3)的采用使得微网与主网间的能量可双向自由交互,即在微网发电成本较主网发电成本高的时段,微网从主网吸收功率,节省支出,而在微网发电成本较主网发电成本低的时段,在满足负荷需求的基础上,微网可向主网输出功率,获取收益,与此同时,实时电价的采用使得微网系统经济效益的体现更为明显。

4结论

储能技术的应用对于微网系统的稳定运行控制发挥着重要作用。本文选取钠硫电池为储能研究对象,建立了包含钠硫电池储能的微网系统经济运行优化模型,并以一个包含光伏发电、风力发电、燃料电池、同步发电单元和钠硫电池储能单元的微网系统为例,讨论了多种因素对系统经济运行优化结果的影响,验证了所建立模型的合理性。

参考文献

- [1]Lasseter R H , Akhil A , Marnay C , et al.Integration of distributed energy resources : the CERTS microgrid concept[R].Berkeley , CA , USA : Consortium for Electric Reliability Technology Solutions , 2002.
- [2]Kojima Y , Koshio M , Nakamura S , et al.A demonstration project in Hachinohe : microgrid with private distribution line[C]//Proceedings of 2007 IEEE International Conference on System of Systems Engineering.San Antonio , TX , USA : IEEE SMC Society , 2007 : 1-6.
- [3]Katiraei F , Iravani R , Hatziargyriou N , et al.Microgrids management[J].IEEE Power and Energy Magazine , 2008 , 6(3) : 54-65.
- [4]Tsikalakis A G , Hatziargyriou N D.Centralized control for optimizing microgrids operation[J].IEEE Trans.on Energy Conversion , 2008 , 23(1) : 241-248.
- [5]Dimeas A L , Hatziargyriou N D.Agent based control for microgrids[C]//Proceedings of IEEE Power Engineering Society General Meeting.Tampa , FL , USA : IEEE Power Engineering Society , 2007 : 1-5.
- [6]钱科军,袁越,石晓丹,等.分布式发电的环境效益分析[J].中国电机工程学报,2008,28(29):11-15.
- [7]丁明,张颖媛,茆美琴.微网研究中的关键技术[J].电网技术,2009,33(11):6-11.
- [8]茆美琴,丁明,张榴晨,等.多能源发电微网实验平台及其能量管理信息集成[J].电力系统自动化,2010,34(1):106-111.
- [9]王成山,李鹏.分布式发电、微网与智能配电网的发展与挑战[J].电力系统自动化,2010,34(2):10-14,23.
- [10]余贻鑫,栾文鹏.智能电网述评[J].中国电机工程学报,2009,29(34):1-8.
- [11]Mears L , Gotschall H , Kamath H.EPRI-DOE Handbook of energy storage for transmission and distribution

applications[R].Palo Alto , CA , USA : EPRI , 2003.

[12]Sanislo M.Energy storage and distributed generation technologies : real options valuation/benefit case studies[R].Palo Alto , CA , USA : EPRI , 2006.

[13]Schoenung S M , Hassenzahl W.Long vs.short-term energy storage:sensitivity analysis[R].CA , USA : Sandia National Laboratories , 2007.

[14]孙春顺,王耀南,李欣然.飞轮辅助的风力发电系统功率和频率综合控制[J].中国电机工程学报,2008,28(29):111-116.

[15]Iba K , Ideta R , Suzuki K.Analysis and operational records of NAS battery[C]//Proceedings of the 41st International Universities Power Engineering Conference.Newcastle , UK : IEEE , IEE and CIGRE , 2006 : 491-495.

[16]丁明,张颖媛,茆美琴,等.集中控制式微网系统的稳态建模与运行优化[J].电力系统自动化,2009,33(24):78-82.

[17]Vollkommer H T , Mandeville J D , Nichols D K , et al.Field trial of AEP sodium-sulfur (NAS) battery demonstration project : interim report-plant design and expected performance[R].Palo Alto , CA , USA : EPRI , 2003.

[18]Tamyurek B , Nichols D K , Demirci O.The NAS battery : a multifunction energy storage system[C]//Proceedings of IEEE Power Engineering Society General Meeting.Toronto , Canada : IEEE Power Engineering Society , 2003 : 1991-1996.

[19]Toshiya O , Masashi T , Shinichi I.Installation planning and operation control of NAS battery systems considering voltage stability margin[C]//Proceedings of the 6th International Conference on Advances in Power System Control , Operation and Management.Hong Kong : IET , 2003 : 141-146.

[20]Norris B.Comparison of storage technologies for distributed resource applications[R].Palo Alto , CA , USA : EPRI , 2003.

[21]Hida Y , Yokoyama R , Iba K , et al.Practical Load Following Operation of NAS Battery[C]//Proceedings of the 8th WSEAS International Conference on Power System.Santander , Spain : University of Cantabria and University of Alcala , 2008 : 101-105.

[22]Kazempour S J , Moghaddam M P , Haghifam M R , et al.Electric energy storage systems in a market-based economy : Comparison of emerging and traditional technologies[J].Renewable Energy , 2009 , 34(12) : 2630 – 2639.

[23]Hatziaargyriou N , Tsikalakis A , Vlachogiannis J , et al.Microgrids large scale integration of micro-generation to low voltage grids : microgrids central controller strategies and algorithms[R].EU : NTUA , 2004.

[24]Mohamed F A , Koivo H N.Online management of microgrid with battery storage using multiobjective optimization[C]//Proceedings of 2007 International Conference on Power Engineering , Energy and Electrical Drives.Setubal , Portugal : IEEE , IEEE Industrial Electronics Society , IPS , ESTSetubal and LabSEI , 2007 : 231-236.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/91710.html>