

Optimal Dispatch for Improving Wind Power Accommodation Based on Thermal Energy Storage

Xu Zhang^{1*}, Xiufang Gu^{1#}, Zhengnan Gao², Xiaolong Wang¹, Yuan Li¹

¹Inner Mongol University of Technology, Hohhot Inner Mongolia

²Dispatching and Communication Center, Hohhot Inner Mongolia

Email: 503960740@qq.com, #1142418500@qq.com

Received: Sep. 20th, 2017; accepted: Oct. 6th, 2017; published: Oct. 11th, 2017

Abstract

In order to solve the problem of wind power consumption, the application of thermal power plant is equipped with large capacity heat storage device to improve the flexibility of the combined operation of the combined heat and power unit, and to break the rigid coupling relationship of "heat stabilization". Based on the analysis of the electrothermal characteristics of the thermoelectric power generation unit, the installation location and operation of the heat storage device in the actual project are introduced. A thermocouple unit with wind farm, heat storage unit and conventional unit is constructed, and the commercial solver Gurobi of YALMIP toolbox is used to solve. The results show that the thermoelectric plant configuration heat storage device has a good effect on reducing the rate of abandonment in the "Three North" area. The results show that the heat storage device has a good effect on reducing the wind power consumption in the "Three North" area.

Keywords

Wind Power Accommodation, Thermal Energy Storage, Combined Heat and Power, Dispatch Model

基于储热提升风电消纳能力的电力系统优化调度

张旭^{1*}, 顾秀芳^{1#}, 高政南², 王小龙¹, 李源¹

¹内蒙古工业大学, 内蒙古 呼和浩特

*第一作者。

#通讯作者。

²内蒙古电力调度控制中心, 内蒙古 呼和浩特
Email: 503960740@qq.com, #1142418500@qq.com

收稿日期: 2017年9月20日; 录用日期: 2017年10月6日; 发布日期: 2017年10月11日

摘要

“三北地区”冬季弃风现象日益严重,为解决风电消纳问题,应用热电厂配置大容量储热装置,以提高热电联合机组运行的灵活性,打破“以热定电”的刚性耦合关系。在分析热电联产机组配置储热的电热特性基础上,介绍了储热装置在实际工程中的安装位置及运行。构建了含风电场、配置储热的热电机组及常规机组的弃风消纳协调调度模型,并采用YALMIP工具箱的商业求解器Gurobi进行求解。仿真分析了储热装置在不同工作方式下对风电消纳的作用,算例结果表明,热电厂配置储热装置对降低“三北”地区的弃风率具有良好的效果。

关键词

风电消纳, 储热, 热电联产, 调度模型

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

2016年,全国风电保持健康发展势头,但弃风问题严重[1],全年弃风电量497亿千瓦时。在我国北方冬季实行“以热定电”的运行模式,热电机组为保证供热而大幅度提高其最小出力,直接制约了电力系统整体的调峰能力,导致风电的上网空间不足,造成大量弃风[2][3]。

为扩大风电运行可行域,解决冬季“以热定电”的刚性耦合关系,储能技术以其良好的互补性得到了广泛关注[4][5][6]。在大容量储能中,除抽水蓄能比较成熟以外,其它储能方式都面临着各种各样的问题不能大容量的存储。为此文献[7][8]提出通过利用储热装置提高热电机组运行的灵活性,分析了大容量储热装置提升风电消纳能力的应用前景。文献[9]介绍了储热装置打破“以热定电”的热电耦合关系的基本原理,并分析了储热装置不同的安装位置对风电消纳的效果。文献[10]分析了蓄热罐提升风电接纳量的机理,以系统煤耗量最小为目标函数建立了包含风电、纯凝机组、热电机组和蓄热罐的综合调度模型。文献[11]建立了含风电、纯凝机组、热电联产、储热装置的电力系统调度模型,并比较了风电供热与热电厂配置储热装置的节煤效果。文献[12]以系统的发电成本最小为调度目标建立了含蓄热罐及电锅炉的电热综合调度模型。然而,目前文献中的目标函数大都只单独考虑了系统的运行成本或者弃风量,没有真实的反映系统的调度情况。

本文在以上文献的研究基础上,介绍了实际工程中热电厂加装储热装置的安装位置及运行流程。构建了含储热热电联产机组的风电消纳优化调度模型,在目标函数中加入了弃风成本及热电机组及常规机组的运行成本,并采用YALMIP工具箱的商业求解器Gurobi进行求解,比较了不含储热的供热方式与热电联产机组配置储热时供热的消纳弃风效果。

2. 热电厂配置储热工作原理

2.1. 热电机组工作原理

将热电机组发电功率和供热功率之间的关联耦合关系称为“电热特性”[11],抽汽式供热机组的电热特性曲线如图 1 所示。 c_b 为每增大单位的供热量时机组最小电出力的增加量, c_{v1} 和 c_{v2} 分别为最大电出力和最小电出力下的对应值, K 为常数; H_{\max} 为机组的最大热出力, H_{med} 为机组在发电功率最小时的供热功率。由图中可以看出当供热功率 H 一定时, 热电机组可以通过调节凝汽汽流的大小来调整电出力, 其调节范围是 $[P_E, P_F]$, 热电机组的热出力越大其电出力的调节范围就会越小。

2.2. 热电机组加装储热装置后工作原理

热电机组加装储热装置后, 其“电热特性”将会发生很大的改变[12], 如图 2 所示, 由原来的 ABCD 区间变为 LMNOQD 区间, 机组的最大供热功率由原来的 H_{\max} 增大到 $H_{+\text{cr. max}}$, 当供热功率 H 一定时, 机组的电功率调节范围由 $[P_E, P_F]$ 增大为 $[P_G, P_I]$, 这是因为储热装置使机组的供热方式更加灵活, 当供热功率一定时, 可以有效的降低热电机组的发电出力, 机组少发的热由储热装置补偿, 为风电提供上网空间。

热电机组加装储热装置时的原理图如图 3 所示, 储热时从热电机组抽供热管道接一路蒸汽(厂房外)至储热站蒸汽-热水换热器, 储热装置里面介质与蒸汽-热水换热器进行热交换, 介质吸热后储存于储热装置, 放热时热网循环泵出口侧接一路热网循环水与储热装置进行热交换, 储热装置介质放热加热热网循环水, 热网循环水加热后进入热网加热器 E 入口管道。

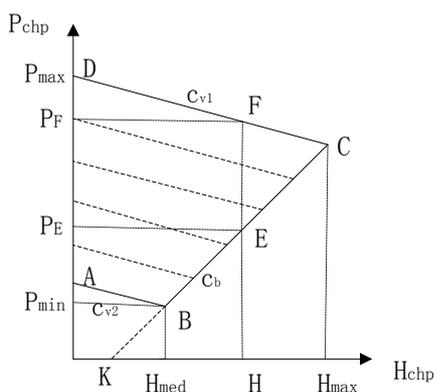


Figure 1. Heat-electricity relationship of CHP unit

图 1. 常规热电机组运行特性

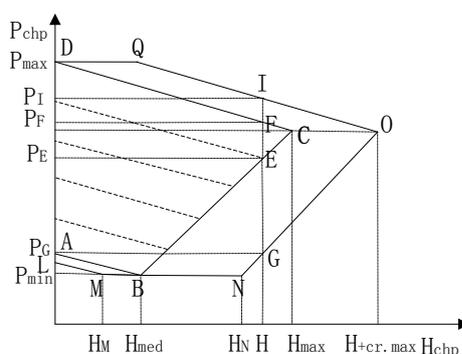


Figure 2. Heat-electricity relationship of CHP unit with TES

图 2. 含储热的热电机组运行特性

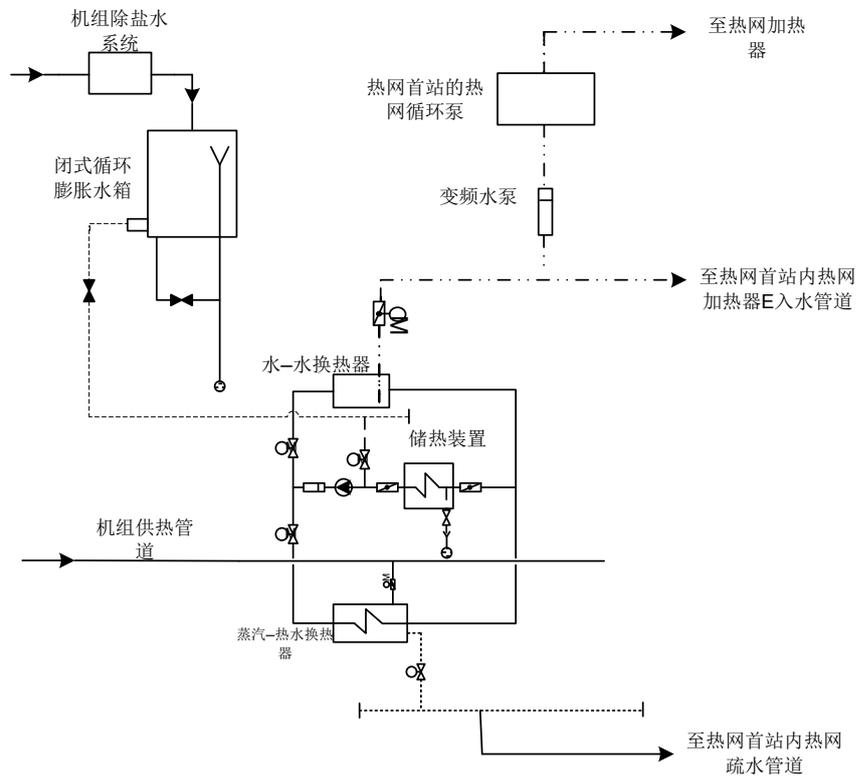


Figure 3. Heat accumulator integrated in a heat supply system

图 3. 储热装置在供热系统中的连接图

2.3. 协调供热综合系统结构

北方地区热力系统和电力系统有着紧密的联系，在电源侧加装储热装置可以使机组的出力更加灵活，可以有效的解决风电消纳问题。含储热热电联产机组协调供热的综合系统的结构如图 4 所示。

3. 含储热的热电调度模型

3.1. 调度模型目标函数

以弃风量最小为目标函数

$$\min \sum_{t=1}^N \sum_{i=1}^{N_W} P_{W,i,t}^q + \varepsilon \sum_{t=1}^N \sum_{i=1}^{N_G} (f_1(P_{G,i,t}) + f_2(u_{i,t}) + f_1(P_{chp,i,t}) + f_2(P_{chp,i,t})) \quad (1)$$

式中 N, N_W, N_G 分别为 1 天的时段数、风电场数和常规机组数； $P_{W,i,t}^q$ 为第 i 个风电场 t 时刻弃风； $P_{G,i,t}$ 为常规机组出力； $P_{chp,i,t}$ 为热电机组出力； $f_1(\cdot)$ 为机组发电成本，运行成本用二次函数 $a_i P_{G,i,t}^2 + b_i P_{G,i,t} + c_i$ 表示和 $f_2(\cdot)$ 为启停成本，用 $u_{i,t}(1-u_{i,t-1})S_i$ 表示； ε 表示罚因子， ε 取 10^{-3} 。

3.2. 系统约束

功率平衡约束

$$\sum_{i=1}^{N_G} P_{G,i,t} + \sum_{i=1}^{N_W} (P_{W,i,t} - P_{W,i,t}^q) + \sum_{i=1}^{N_C} P_{chp,i,t} = P_{LD,t} \quad (2)$$

式中 $P_{W,i,t}$ 为风电场 i 时刻 t 预测出力； $P_{LD,t}$ 为时刻 t 系统用电负荷。

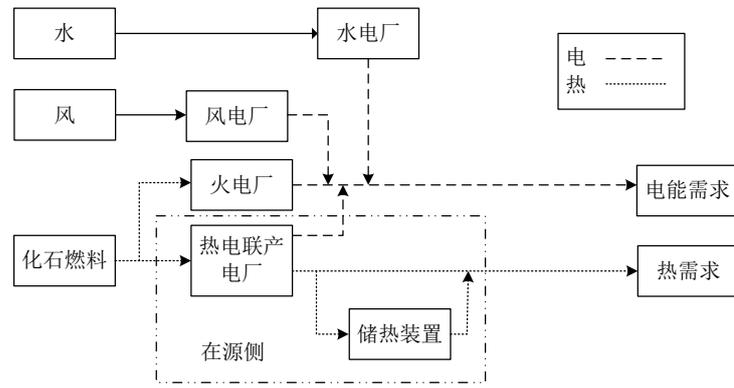


Figure 4. Structure diagram of combined heat and power system
图 4. 协调供热综合系统结构图

3.3. 热力系统约束

3.3.1. 储热装置约束

1) 容量约束

$$0 \leq S_t \leq S_{\max} \quad (3)$$

式中 S_t 为 t 时刻的储热容量, S_{\max} 为最大储热容量

2) 储放热功率约束:

$$\begin{cases} 0 \leq H_{in}^t \leq H_{in}^{\max} \\ 0 \leq H_{out}^t \leq H_{out}^{\max} \end{cases} \quad (4)$$

式中 H_{in}^t , H_{out}^t 为 t 时刻储热装置的储热功率和放热功率, 其最大值为 H_{in}^{\max} , H_{out}^{\max} 。

3) 状态约束

$$\begin{cases} \Delta t (H_{in}^t - H_{out}^t - k_{loss} S_t) = S_{t+1} - S_t \\ S_N = S_0 \end{cases} \quad (5)$$

储热装置储热量受漏热损失和储放热功率的影响。 k_{loss} 为漏热损失系数。此外, 储热装置的运行一个周期(如 1 天)后, 储热量需要恢复到初始量。

3.3.2. 热负荷约束

$$H_{out}^t + H_d^t = H_{load}^t \quad (6)$$

储热装置释热功率加上热电联产机组或电供热直供的供热功率, 要满足热负荷需求。

3.4. 热电联产机组约束

1) 热电比约束

对于背压式热电机组来说, 该类型的第 i 台机组电出力 $P_{chp,i}$ 完全由其热出力 $H_{chp,i}^t$ 决定, 如式(7)所示。

$$P_{chp,i,t} = H_{chp,i}^t / k_{hp} \quad (7)$$

$P_{chp,i,t}$ 为热电机组 i 在 t 时刻的电出力, $H_{chp,i}^t$ 为热电机组 i 在 t 时刻的热出力, k_{hp} 为热电机组的热电比。

抽汽式热机组在满足运行条件下可以通过调节抽汽量来调整热电比，其约束为式

$$\begin{cases} P_{chp,i,t} \geq \max \{ c_m \cdot H'_{chp,i} + K_i, P_{\min,i,t} - c_{v2,i} \cdot H'_{chp,i} \} \\ P_{chp,i,t} \leq P_{\max,i,t} - c_{v2,i} \cdot H'_{chp,i} \end{cases} \quad (8)$$

在实际运行中，抽汽式热机组一般都运行在固定热电比模式。

2) 运行区间约束

$$P_{chp}^{\min} \leq P_{chp,i,t} \leq P_{chp}^{\max} \quad (9)$$

3) 机组爬坡率约束

$$-D_{CHP,i}^{\max} \cdot \Delta t \leq P_{chp,i,t+1} - P_{chp,i,t} \leq U_{CHP,i}^{\max} \cdot \Delta t \quad (10)$$

式中 $D_{CHP,i}^{\max}$ ， $U_{CHP,i}^{\max}$ 分别为机组每分钟向上/向下爬坡速率极限。

4) 储热装置连接约束

$$H'_{chp} = H'_{in} + H'_d \quad (11)$$

热机组的热出力 H'_{chp} 要满足储热功率 H'_{in} 与直接供热功率 H'_d 之和。

3.5. 常规机组约束

1) 常规机组出力约束

$$\begin{cases} P_{G,i}^{\min} \leq P_{G,i,t} \leq P_{G,i}^{\max} \\ -D_{G,i}^{\max} \cdot \Delta t \leq P_{G,i,t+1} - P_{G,i,t} \leq U_{R,i}^{\max} \cdot \Delta t \end{cases} \quad (12)$$

式中 $P_{G,i}^{\min}$ ， $P_{G,i}^{\max}$ ， $D_{R,i}^{\max}$ ， $U_{R,i}^{\max}$ 分别为机组 i 的最小出力、最大出力、向下、向上爬坡率极限。

2) 机组启停出力约束

$$\begin{cases} u_{i,t-1} = 0, u_{i,t} = 1 \\ u_{i,t} = 1, u_{i,t+1} = 0 \end{cases}, P_{G,i,t} = P_{G,i}^{\min} \quad (13)$$

3) 正、负旋转备用约束

$$\begin{cases} U_{SR} = \sum_{i=1}^{N_G} \min(P_{G,i}^{\max} - P_{G,i,t}, D_{R,i}^{\max}) \geq P_{sr} \\ U_{DR} = \sum_{i=1}^{N_G} \min(P_{G,i,t} - P_{G,i}^{\min}, U_{R,i}^{\max}) \geq P_{sr} \end{cases} \quad (14)$$

式中 P_{sr} 为系统旋转备用额度，取系统发电最高负荷的 7%。

4) 网络安全约束

电网各支路潮流需在限值之内

$$P_{A,i,t}^{\min} \leq P_{A,i,t} \leq P_{A,i,t}^{\max} \quad (15)$$

式中 $P_{A,i,t}$ 为支路 i 时刻 t 的潮流； $P_{A,i,t}^{\min}$ ， $P_{A,i,t}^{\max}$ 分别为支路潮流 i 的最大和最小传输极限。

4. 算例分析

4.1. 仿真算例

为验证模型的有效性以及热机组配置储热装置对消纳风电的作用，本文以当前我国北方某省电网

实际电源结构比例, 简化取某地区电网电源装机容量结构如表 1 所示。

其中, 热电机组共 7 台, 均为大型抽汽式机组(300 MW 和 200 MW 两类), 2 台常规机组(300 MW 和 600 MW 两类), 具体发电机组相关特性参数参见附录 A。建有一个热容量为 2000 MWh 的蓄热罐, 最大蓄、放热功率为 600 MW (足够大, 运行中不受蓄热罐参数影响), 采用以热定电的方式运行, 热电比为 1.15。具体发电机组相关特性参数和供热期内电负荷、热负荷、风电预测出力等数据参见附录 A。

为简化分析, 暂不考虑网络约束的影响, 主要考虑全系统的有功功率平衡。算例分别采用以下两种方式进行仿真:

方式一: 储热方式不工作, 系统由传统的热电联产机组对热负荷进行供热, 采用以热定电的方式运行, 热电刚性耦合使风电上网量减少, 易出现弃风现象。

方式二: 由配置储热的热电厂进行供热, 通过对储热装置的灵活调节进行供热, 从而打破以热定电的刚性耦合, 为风电的上网提供一定的空间。

本算例中, 取调度周期为 1 天, 单位调度时长为 1 小时。采用目前流行的 gurobi 软件, 并利用 yalmip 语言进行编程求解。

4.2. 算例结果分析

从图 5~7 中可以看出热电厂配置储热后热电厂配置储热装置后, 各类型机组发电功率发生变化: 在负荷低谷的 22 h、23 h 到次日凌晨 1~3 h 时段, 热电机组降低了电功率, 而与此同时, 风电上网功率得到增加, 这是因为在凌晨时处于弃风的高发时段, 而且储热装置处于放热的工作状态, 从而降低热电机组的发电出力, 为风电上网提供消纳空间。由图 8 可知储热装置从早上 10 点到晚上 21 点之间都工作在储热状态, 最大的储热量集中在两个负荷高峰时段, 这是因为在负荷高峰时段用电量, 可以增大热发电机组的发电功率, 从而提高热发电机组的供热功率, 在供热负荷一定的情况下, 就可以把多余的热量存储在储热装置。具体的各模型的调度结果见附录 B。

加入储热前后的风电实际出力曲线如图 9 所示。从图中可以直观的看出由图 10、表 2 可知热电厂配置储热装置前, 弃风量减小为 3476.57 MW·h, 风电弃风比例为 34.8%。加入储热装置后, 储热容量为 2000 MW·h, 弃风量减小为 2379.55 MW·h, 风电弃风比例降为 23.8%, 加入储热装置后, 使风电的弃风比例降低了 11 个百分点, 充分验证了储热装置对于弃风消纳的作用及模型的有效性。

Table 1. Installed capacity of power grid

表 1. 电网装机容量

电源类型	热电机组	常规机组	风电
装机容量(MW)	1900	900	550
所占比例(%)	56.7	26.9	16.4

Table 2. Abandoned wind power of two ways

表 2. 两种方式的弃风比例

	无储热	加储热
弃风量/MWh	3476.5652	2379.5484
弃风比例	34.821%	23.8336138%

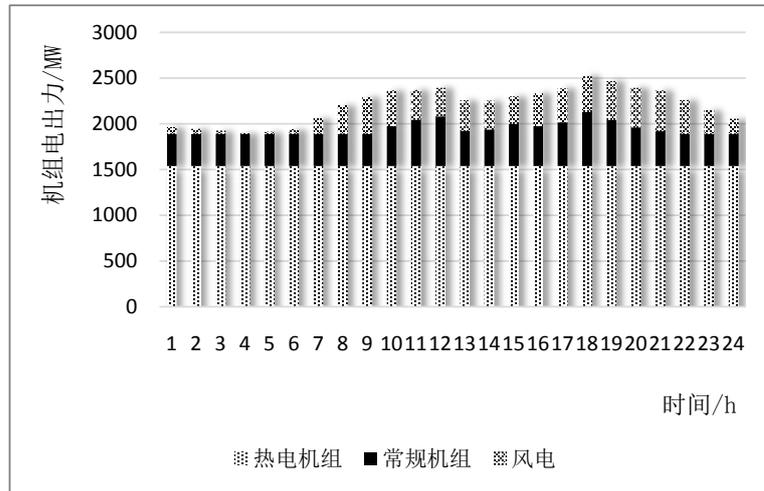


Figure 5. Three units of power output situation without TES
 图 5. 不加储热时三种机组电出力情况

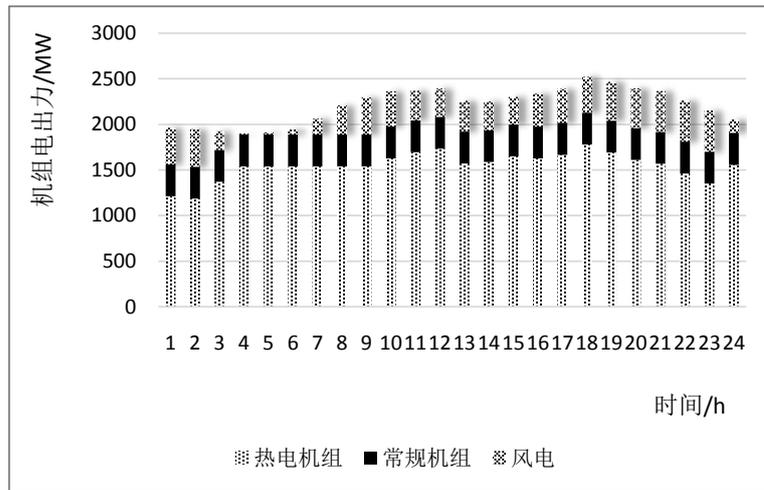


Figure 6. Three units of power output situation with TES
 图 6. 加储热时三种机组电出力情况

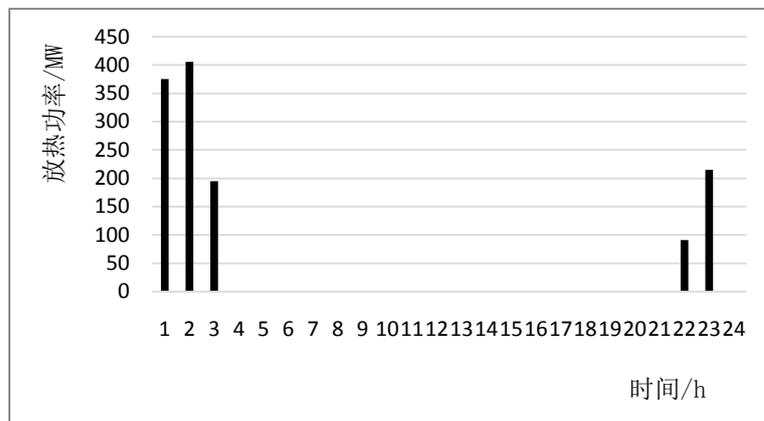


Figure 7. Heat dissipation of heat storage device
 图 7. 储热装置的补偿供热情况

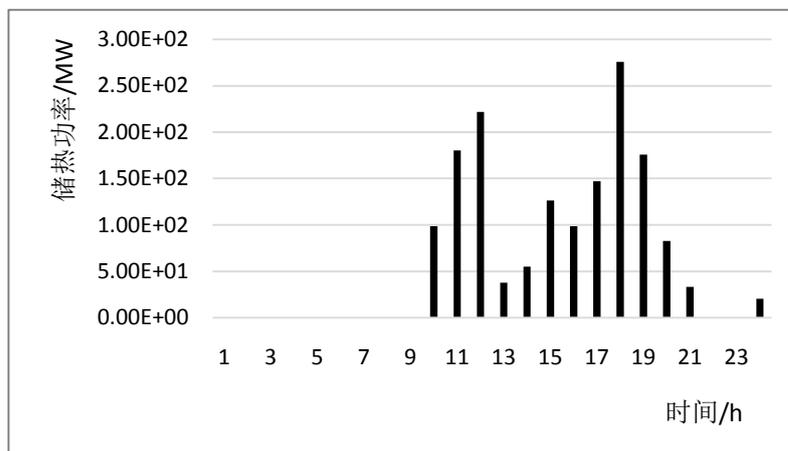


Figure 8. Heat storage Heat storage situation of heat storage device

图 8. 储热装置的储热情况

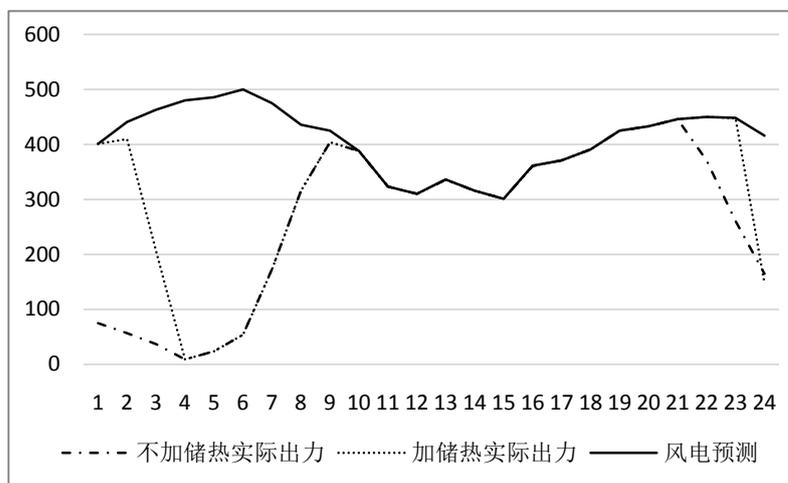


Figure 9. Wind power output curve in different situations

图 9. 不同情况下的风电出力曲线

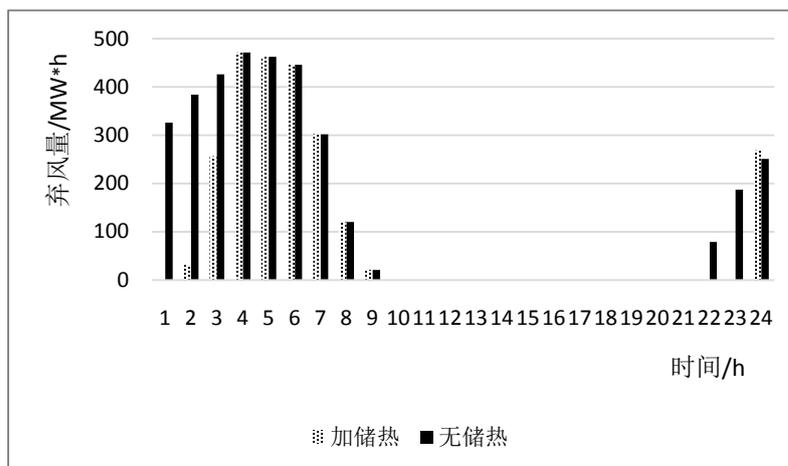


Figure 10. The amount of abandoned air in different ways

图 10. 不同方式下的弃风量

5. 结论

提升风电消纳的关键是增强电力系统调节能力, 本文基于热电联产机组配置大容量储热, 通过对储热环节的控制, 电力系统的调节能力可以得到有效提高, 提升系统风电消纳的能力。本文构建了含风电场、配置储热的热电机组及常规机组的弃风消纳协调调度模型, 并采用 YALMIP 工具箱的商业求解器 Gurobi 进行求解, 仿真分析了热电厂不加装储热和加储热装置的作用, 在储热容量及储放热功率足够大的情况下, 弃风量能够降低大约 11%, 验证了模型的有效性, 及利用储热使风电消纳能力得到显著提升。

本文所建立的调度模型可用分析储热容量及储、放热功率热电联产机组参数对风电消纳的影响, 也可为电网调度部门制定日前调度计划提供依据。但本文并没有对前期成本及实施的经济性进行分析, 还需进一步研究。

参考文献 (References)

- [1] 国家能源局. 2016 年风电并网运行情况[EB/OL]. 2017-01-26. http://www.nea.gov.cn/2017-01/26/c_136014615.htm
- [2] 吕泉, 王伟, 韩水, 苑舜, 张近朱, 李卫东. 基于调峰能力分析的电网弃风情况评估方法[J]. 电网技术, 2013, 37(7): 1887-1894.
- [3] 谢国辉, 樊昊. 东北地区风电运行消纳形势及原因分析[J]. 中国电力, 2014, 47(10): 152-155.
- [4] 郑乐, 胡伟, 陆秋瑜, 等. 储能系统用于提高风电接入的规划和运行综合优化模型[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(16): 2533-2543.
- [5] 严干贵, 刘嘉, 崔杨, 等. 利用储能提高风电调度入网规模的经济性评价[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(22): 45-52.
- [6] 袁小明, 程时杰, 文劲宇. 储能技术在解决大规模风电并网问题中的应用前景分析[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(1): 14-18.
- [7] 穆钢, 崔杨, 陈志, 严干贵, 孙勇. 吉林风电消纳关键技术的研究现状与发展趋势[J]. 科技导报, 2017, 35(11): 20-29.
- [8] 徐飞, 闵勇, 陈磊, 陈群, 胡伟, 张玮灵, 王小海, 侯佑华. 包含大容量储热的电-热联合系统[J]. 中国电机工程学报, 2014(29): 5063-5072.
- [9] 陈磊, 徐飞, 王晓, 闵勇, 丁茂生, 黄鹏. 储热提升风电消纳能力的实施方式及效果分析[J]. 中国电机工程学报, 2015(17): 4283-4290.
- [10] Rinne, S. and Syri, S. (2015) The Possibilities of Combined Heat and Power Production Balancing Large Amounts of Wind Power in Finland. *Energy*, **82**, 1034-1046.
- [11] 吕泉, 陈天佑, 王海霞, 等. 含储热的电力系统电热综合调度模型[J]. 电力自动化设备, 2014, 34(5): 79-85.
- [12] 崔杨, 陈志, 严干贵, 唐耀华. 基于含储热电联产机组与电锅炉的弃风消纳协调调度模型[J]. 中国电机工程学报, 2016(15): 4072-4081.

附录 A

Table A1. Parameters of the thermal power

表 A1. 机组参数

机组	最大发电功率 (MW)	最小发电功率 (MW)	最大供热功率 (MW)	a (t·MW ⁻² ·h ⁻¹)	b (t·MW ⁻¹ ·h ⁻¹)	c (t·h ⁻¹)	爬坡率 P_{up}	爬坡率 P_{down}
1	323	150	357	7.58799E-05	0.2716019	18.82248	80	80
2	323	150	357	7.58799E-05	0.2716019	18.82248	80	80
3	323	150	357	7.58799E-05	0.2716019	18.82248	80	80
4	323	150	357	7.58799E-05	0.2716019	18.82248	80	80
5	323	150	357	7.58799E-05	0.2716019	18.82248	80	80
6	212	100	241	0.000171324	0.2705489	11.53743	60	60
7	212	100	241	0.000171324	0.2705489	11.53743	60	60
8	300	150	0	7.58799E-05	0.2716019	18.82248	80	80
9	600	300	0	3.79399E-05	0.2716019	37.64497	130	130

Table A2. Electric load, heat load and forecast power of wind power

表 A2. 电负荷、热负荷及风电预测率

时 间/h	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
电负荷/MW	1964	1946	1926	1898	1913	1943	2062	2205	2293	2363	2369	2392
热负荷/MW	1770	1770	1770	1770	1770	1770	1770	1770	1770	1770	1770	1770
风电功率/MW	401	441	463	480	486	500	475	436	425	388	323	310
时 间/h	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
电负荷/MW	2258	2253	2300	2336	2388	2520	2467	2394	2364	2260	2150	2054
热负荷/MW	1770	1770	1770	1770	1770	1770	1770	1770	1770	1770	1770	1770
风电功率/MW	336	316	301	361	371	391	425	433	446	450	448	416

附录 B 调度结果

不加储热时的调度结果:

Table B1. Abandoned wind power without TES

表 B1. 不加储热时的弃风量

时 间/h	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
弃风量 (MW)	326.13	384.13	426.13	471.13	462.13	446.13	302.13	120.13	21.13	0.00	0.00	0.00
时 间/h	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
弃风量 (MW)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	79.13	187.13	251.13

Table B2. Units of power output situation without TES
表 B2. 不加储热时的机组出力

时段	热电机组 1	热电机组 2	热电机组 3	热电机组 4	热电机组 5	热电机组 6	热电机组 7	常规机组 1	常规机组 2
1	249.74	249.74	249.74	249.74	249.74	145.23	145.23	150	200
2	245.64	245.64	245.64	245.64	245.64	155.48	155.48	150	200
3	244.28	244.28	244.28	244.28	244.28	158.88	158.88	150	200
4	243.87	243.87	243.87	243.87	243.87	159.89	159.89	150	200
5	243.75	243.75	243.75	243.75	243.75	160.19	160.19	150	200
6	243.72	243.72	243.72	243.72	243.72	160.27	160.27	150	200
7	243.71	243.71	243.71	243.71	243.71	160.30	160.30	150	200
8	243.70	243.70	243.70	243.70	243.70	160.31	160.31	150	200
9	243.70	243.70	243.70	243.70	243.70	160.31	160.31	150	200
10	243.70	243.70	243.70	243.70	243.70	160.31	160.31	180.46	255.41
11	243.70	243.70	243.70	243.70	243.70	160.31	160.31	208.17	298.70
12	243.70	243.70	243.70	243.70	243.70	160.31	160.31	221.32	321.55
13	243.70	243.70	243.70	243.70	243.70	160.31	160.31	168.94	213.93
14	243.70	243.70	243.70	243.70	243.70	160.31	160.31	182.60	215.27
15	243.70	243.70	243.70	243.70	243.70	160.31	160.31	200.61	259.26
16	243.70	243.70	243.70	243.70	243.70	160.31	160.31	196.23	239.64
17	243.71	243.71	243.71	243.71	243.71	160.30	160.30	206.75	271.12
18	243.72	243.72	243.72	243.72	243.72	160.27	160.27	237.11	352.76
19	243.75	243.75	243.75	243.75	243.75	160.19	160.19	219.89	282.98
20	243.87	243.87	243.87	243.87	243.87	159.89	159.89	191.97	229.90
21	244.28	244.28	244.28	244.28	244.28	158.88	158.88	168.16	210.71
22	245.64	245.64	245.64	245.64	245.64	155.48	155.48	150	200
23	249.74	249.74	249.74	249.74	249.74	145.23	145.23	150	200
24	260.45	260.45	260.45	260.45	260.45	118.43	118.43	150	200

加储热时的调度结果:

Table B3. Abandoned wind power with TES
表 B3. 加储热时的弃风量

时 间 /h	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
弃风量 (MW)	0.00	31.22	256.81	471.13	462.13	446.13	302.13	120.13	21.13	0.00	0.00	0.00
时 间 /h	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
弃风量 (MW)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	268.73

Table B4. Units of power output situation without TES
表 B4. 加储热时的机组出力

时段	热电机组 1	热电机组 2	热电机组 3	热电机组 4	热电机组 5	热电机组 6	热电机组 7	常规机组 1	常规机组 2
1	183.45	213.22	183.45	183.45	183.45	100	166.00	150	200
2	243	293.22	150	150	150	100	100	150	200
3	323	316.81	230	150	150	100	100	150	200
4	323	246.13	310	230	230	100	100	150	200
5	323	323	323	220.13	150	100	100	150	200
6	323	323	323	150	150	100	170.13	150	200
7	323	323	249.13	230	150	132	132	150	200
8	323	323	169.13	150	150	212	212	150	200
9	323	323	169.13	150	150	212	212	150	200
10	323	323	249.13	230	150	137.87	212	150	200
11	300	323	243	310	150	190	180	150	200
12	323	323	323	323	230	110	100	150	200
13	295	323	284	243	163	132	132	150	200
14	230	323	204	163	243	212	212	150	200
15	150	323	284	150	323	207	212	150	200
16	230	243	284	230	294	132	212	150	200
17	310	163	204	243	323	212	212	150	200
18	243	236	230	323	323	212	212	150	200
19	163	309	150	323	323	212	212	150	200
20	243	237	150	314	243	212	212	150	200
21	323	306	150	234	163	180	212	150	200
22	323	323	230	154	150	100	180	150	200
23	278.66	323	183.45	183.45	183.45	100	100	150	200
24	263.45	263.45	263.45	263.45	263.45	119.75	119.75	150	200

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2161-8763, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
 期刊邮箱: sg@hanspub.org