

考虑售热条件的多微网优化调度模型

戴锦程

(华北电力大学(保定), 河北 保定 071003)

摘要: 本文建立了考虑售热的冷热电联供(Combined Cooling, Heating and Power, CCHP)型多微网经济优化调度模型, 并通过算例, 将有无售热条件的优化结果进行比较, 证明售热对多微网 CHP 机组利用率、经济性的积极作用。同时, 讨论售热价格变化对本模型总成本的影响。

关键词: 冷热电联供; 多微网; 售热

中图分类号: TM73

文献标识码: A

文章编号: 1004-7344(2021)19-0245-02

0 引言

随着能源紧缺问题的日益突显, 可再生能源的开发利用成为研究热点。微网是一种灵活消纳可再生能源的配电网络。冷热电联供系统是燃烧天然气, 实现燃料能量的梯级利用的冷热电供应的系统。CCHP 型微网结合了两者的优点, 同时使能量耦合更复杂, 给其优化调度带来了新的挑战。

目前, CCHP 型微网关于优化调度的问题进行了较多研究。文献[1]把微网间电能交互考虑在模型中。文献[2]的模型考虑了微网间的热电余量交易, 通过算例表明热电交易的优势。然而, 以上文献未考虑对外售热对系统经济性和设备的影响。

本文建立了以总成本最低为目标的考虑售热的 CCHP 型多微网调度模型。通过算例, 比较分析有无售热条件下 CHP 机组出力情况、购气成本和总成本, 验证了模型的合理性。

1 基础模型

1.1 CCHP 型微网结构

微网内主要设备包括: 热电联供(CHP)机组、燃气锅炉、吸收式制冷机、冷热电储能设备。微网能流关系示意图如图 1 所示。

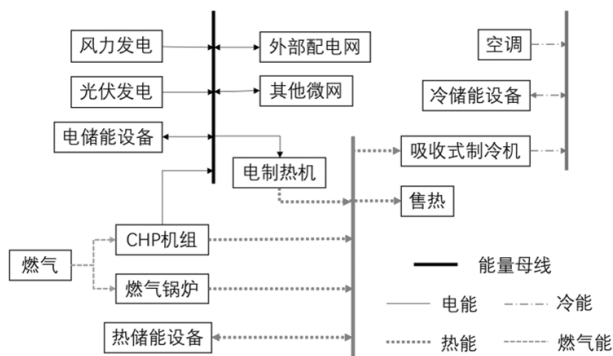


图 1 CCHP 型微网结构

1.2 CHP 机组

CHP 机组燃烧天然气获得热能并转化为电能, 余热经处理继续被利用。CHP 机组消耗一定量天然气产生的电能和余热关系见式(1):

$$P_{chp}(t) = \frac{P_{chpe}(t)}{\eta_{chpe}} = \frac{P_{chph}(t)}{\eta_{chph}} \quad (1)$$

式中: $P_{chp}(t)$ 表示 t 时段消耗天然气的功率; $P_{chpe}(t)$ 和 $P_{chph}(t)$ 分别表示 t 时段产生的电和余热功率; η_{chpe} 和 η_{chph} 分别表示 CHP 机组的输出电和热效率。

1.3 燃气锅炉

燃气锅炉通过燃烧天然气供热, 其消耗天然气的能量与产出的热能关系见式(2):

$$P_{gb,out}(t) = \eta_{gb} P_{gb}(t) \quad (2)$$

式中: $P_{gb}(t)$ 和 $P_{gb,out}(t)$ 分别表示 t 时段消耗的天然气的功率和输出的热功率; η_{gb} 表示燃气锅炉的输出热效率。

1.4 吸收式制冷机

吸收式制冷机为冷热能耦合设备, 其吸收热量和输出冷量的关系见式(3):

$$P_{lbac}(t) = \frac{P_{lbac,out}(t)}{\eta_{lbac}} \quad (3)$$

式中: $P_{lbac}(t)$ 和 $P_{lbac,out}(t)$ 分别表示 t 时段吸收的热功率和输出的冷功率; η_{lbac} 表示制冷效率。

1.5 冷热电储能设备

以电储能设备(以 ees 为下标)为例, 其他储能设备(热、冷储能能以 tes、ces 为下标)有类似的关系。

电储能容量限制关系见式(4):

$$S_{ees}(t) \leq S_{ees}^{max} \quad (4)$$

式中: $S_{ees}(t)$ 表示 t 时段设备储存的电能量; S_{ees}^{max} 表示设备储存容量

最大值。

储存的电能随时间变化关系见式(5):

$$S_{\text{ees}}(t+1) = \eta_{\text{ees}} S_{\text{ees}}(t) - P_{\text{ees}}(t) \quad (5)$$

式中: $S_{\text{ees}}(t+1)$ 表示 t 时段设备储存的电能; η_{ees} 表示设备自损系数; $P_{\text{ees}}(t)$ 表示设备出力。

2 优化调度模型

本模型多微网有 3 个微网。微网 1 含有冷热电负荷及其储能、光伏发电、CHP 机组、燃气锅炉、吸收式制冷机、空调; 微网 2 含有热电负荷及其储能、光伏和风力发电、CHP 机组、燃气锅炉、电制热机; 微网 3 含有冷电负荷及其储能、光伏和风力发电、CHP 机组、吸收式制冷机、空调。

2.1 目标函数

本模型以成本为目标函数, 包括购气成本、外部电成本或利润、微网间电成本或利润、设备运行维护成本及售热利润, 分别用 $C_{\text{gi}}(t)$ 、 $C_{\text{ewi}}(t)$ 、 $C_{\text{eni}}(t)$ 、 $C_{\text{opi}}(t)$ 和 $C_{\text{hi}}(t)$ 表示。具体函数见式(6)~(10):

$$C_{\text{gi}}(t) = \lambda_{\text{g}} (P_{\text{chpi}}(t) + P_{\text{gbi}}(t)) \quad (6)$$

$$C_{\text{ewi}}(t) = \lambda_{\text{ew}} P_{\text{ewi}}(t) \quad (7)$$

$$C_{\text{eni}}(t) = \lambda_{\text{en}} P_{\text{eni}}(t) \quad (8)$$

$$C_{\text{hi}}(t) = \lambda_{\text{h}} P_{\text{hi}}(t) \quad (9)$$

$$C_{\text{opi}}(t) = k_{\text{chpe}} P_{\text{chpei}}(t) + k_{\text{gbe}} P_{\text{gbi}}(t) + k_{\text{ebe}} P_{\text{ebi}}(t) + k_{\text{lbac}} P_{\text{lbaci}}(t) +$$

$$k_{\text{ac}} P_{\text{aci}}(t) + k_{\text{ces}} |P_{\text{cesi}}(t)| + k_{\text{les}} |P_{\text{lesi}}(t)| + k_{\text{cesi}} |P_{\text{cesi}}(t)|$$

式中: i 对应微网编号; λ_{g} 、 λ_{ew} 、 λ_{en} 和 λ_{h} 分别表示燃气单价、外部电价、微网间电价和售热单价; $P_{\text{ewi}}(t)$ 、 $P_{\text{eni}}(t)$ 和 $P_{\text{hi}}(t)$ 分别表示微网 i 在 t 时段购气能量功率、外部的电能功率、其他微网的电能功率和售热功率; k_{chpe} 、 k_{gbe} 、 k_{ebe} 、 k_{lbac} 、 k_{ac} 、 k_{ces} 、 k_{les} 和 k_{cesi} 表示设备运行成本系数。

2.2 约束条件及求解方法

各微网满足冷热电负荷与能源、设备出力平衡的约束条件, 见式(11)~(13):

$$P_{\text{lei}}(t) = P_{\text{wi}}(t) + P_{\text{si}}(t) + P_{\text{cesi}}(t) + P_{\text{chpei}}(t) + P_{\text{ewi}}(t) + P_{\text{eni}}(t) - P_{\text{aci}}(t) - P_{\text{adi}}(t) \quad (11)$$

$$P_{\text{hi}}(t) = P_{\text{lesi}}(t) + P_{\text{chphi}}(t) + P_{\text{gbo}}(t) + P_{\text{ebo}}(t) - P_{\text{lbaci}}(t) - \frac{P_{\text{hi}}(t)}{\mu_{\text{h}}} \quad (12)$$

$$P_{\text{lci}}(t) = P_{\text{cesi}}(t) + P_{\text{lbac}}(t) + P_{\text{ac}}(t) \quad (13)$$

式中: $P_{\text{lei}}(t)$ 、 $P_{\text{hi}}(t)$ 和 $P_{\text{lci}}(t)$ 分别表示 t 时段微网 i 的电、热、冷负荷; $P_{\text{wi}}(t)$ 和 $P_{\text{si}}(t)$ 分别表示 t 时段微网 i 的风力和光伏发电功率; μ_{h} 表示售热过程的热能损失系数。

微网间电能交互不考虑损耗, 故相互平衡, 见式(14):

$$\sum_{i=1}^3 P_{\text{eni}}(t) = 0 \quad (14)$$

主要设备输入与输出能量转化约束和储能设备容量约束均在基础模型中说明。各设备出力限制约束类似, 见式(15):

$$P_{\text{min}} \leq P(t) \leq P_{\text{max}} \quad (15)$$

式中: $P(t)$ 表示各设备 t 时段的出力; P_{min} 和 P_{max} 表示设备出力最小/最大值。

本模型利用 matlab 平台搭建模型, 利用 yalmip 求解目标函数的最小值及设备各时段出力。

3 算例分析

3.1 CHP 机组出力情况

CHP 机组能源利用率高, 是 CCHP 型微网降低成本的关键。

CHP 机组的利用率越高, 成本越低。算例表明, 在 13:00 至 15:00 期间, 微网 1 中 CHP 机组无售热条件下利用率为 47%; 而售热条件下此时段的利用率为 100%。总体利用率有售热和无售热条件下, 微网 1 分别为 64.44% 和 57.45%; 微网 2 分别为 58.67% 和 43.83%; 微网 3 均为 59.94%。

3.2 购气成本与总成本

燃气是燃气锅炉和 CHP 机组的能源, 售热会使系统购气量增加。本模型有售热条件下的购气成本为 21101.46 元, 总成本为 19787.33 元。无售热条件下的购气成本为 18549.88 元, 比有售热条件下少 2.4%; 而总成本为 19883.73 元, 比有售热条件下多 0.5%。这表明考虑售热条件对多微网总成本的降低有积极作用。

3.3 售热单价对总成本影响

不同售热单价对多微网总成本的影响如图 2 所示。当单价升至 0.15 元/kW 以上, 总成本随单价升高而降低。

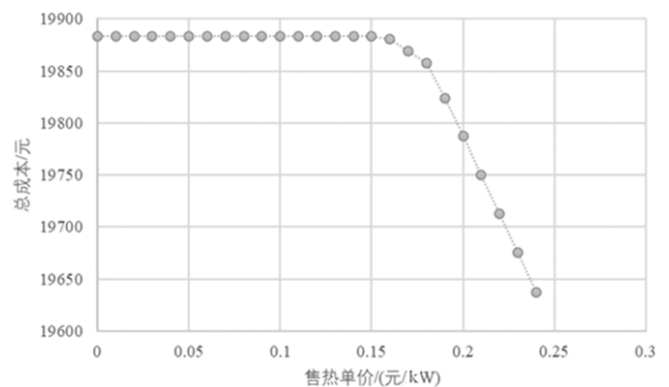


图 2 售热单价与总成本关系

4 结论

本文主要得出以下结论:

(1) 考虑售热条件能显著提高各 CCHP 型微网的 CHP 机组利用率, 进而提高利用能源的效率, 最终降低成本。

(2) 考虑售热会使模型趋于生产更多的热能, 即消耗更多的燃气, 而最终对多微网总成本的降低有积极意义。

(3) 本模型中, 售热单价与总成本的关系有显著非线性特征。当售热单价降低至某一数值后, 总成本将降到最低不再变化。

本文仅考虑微网间电功率交互的情况, 未考虑热能交互的情况。微网间热能交互对多微网总成本和设备出力等模型结果决策的影响可以进一步研究。

参考文献

- [1] 徐青山, 李淋, 蔡霖霖, 等. 考虑电能交互的冷热电多微网系统日前优化经济调度[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(21): 36-44.
- [2] 杜炜, 窦迅, 王镇, 等. 考虑热电余量交易的微网群优化调度[J]. 电网技术, 2020, 44(10): 3777-3786.

收稿日期: 2021-04-06

作者简介: 戴锦程(1999—), 男, 汉族, 江苏南京人, 本科在读, 研究方向为冷热电多微网经济优化调度。