

热电联产机组供热能耗影响因素研究

祁海波¹, 邹 洋², 李 刚¹, 刘 明³

(1. 华能国际电力股份有限公司 上安电厂, 河北 石家庄 050310; 2. 西安热工研究院有限公司, 陕西 西安 710054;

3. 西安交通大学 动力工程多相流国家重点实验室, 陕西 西安 710049)

摘要:为了研究不同因素对热电联产机组真实供热能耗影响的差异,采用参比机组法计算几种不同容量和类型的热电联产机组的供热煤耗率,进而研究了热网循环水泵、给水泵、供热蝶阀对供热煤耗率的影响。研究表明:与采用小汽轮机驱动相比,热网循环水泵采用电机驱动时,机组供热煤耗率将上升,最大值为1.21 kg/GJ;给水泵采用电机驱动时,机组供热煤耗率可能上升或下降,上升值最大为0.77 kg/GJ,下降值最大为0.99 kg/GJ;与采用供热蝶阀相比,不采用蝶阀时,机组供热煤耗率会下降,下降值最大为12.29 kg/GJ。

关键词:燃煤机组;全工况;供热煤耗影响因素;能耗对比分析

中图分类号:TK28 文献标识码:A DOI:10.16146/j.cnki.rndlgc.2023.06.010

[引用本文格式]祁海波,邹 洋,李 刚,等.热电联产机组供热能耗影响因素研究[J].热能动力工程,2023,38(6):88-95. QI Hai-bo, ZOU Yang, LI Zhao, et al. Study on factors affecting heating energy consumption of cogeneration unit[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2023, 38(6): 88-95.

Study on Factors Affecting Heating Energy Consumption of Cogeneration Unit

QI Hai-bo¹, ZOU Yang², LI Zhao¹, LIU Ming³

(1. Shang'an Power Plant, Huaneng International Electric Power Co., Ltd., Shijiazhuang, China, Post Code: 050310;

2. Xi'an Thermal Power Research Institute Co., Ltd., Xi'an, China, Post Code: 710054;

3. State Key Laboratory of Multiphase Flow in Power Engineering, Xi'an Jiaotong University,
Xi'an, China, Post Code: 710049)

Abstract: To research the influence of different factors on the real heating energy consumption of cogeneration units, the reference unit method was used to calculate the heating coal consumption rate of several different capacity and types of cogeneration units, furthermore, the influence of circulating water pump, feed water pump and heating butterfly valve in the heating network on heating coal consumption rate was studied. Results show that when the circulating water pump in the heating network is driven by motor, compared with that driven by small steam turbine, the heating coal consumption rate of the unit will increase, and the maximum increasing value is 1.21 kg/GJ; when the feed water pump is driven by motor, the heating coal consumption rate of the unit may increase or decrease, the maximum increasing value is 0.77 kg/GJ and the maximum decreasing value is 0.99 kg/GJ; compared with the heating butterfly valve, when the butterfly valve is not used, the heating coal consumption rate of the unit will be reduced, and the maximum decreasing value is 12.29 kg/GJ.

Key words: coal-fired unit, full working condition, influencing factors of heating coal consumption, comparative analysis of energy consumption

收稿日期:2022-07-15; 修订日期:2022-09-19

基金项目:中国华能集团有限公司总部科技项目(HNKJ21-HF116)

Fund-supported Project: Science and Technology Project of China Huaneng Group (HNKJ21-HF116)

作者简介:祁海波(1985-),男,华能国际电力股份有限公司上安电厂工程师。

通讯作者:刘 明(1985-),男,西安交通大学教授。

引言

我国制定了“双碳”目标以应对全球气候变化和能源问题,未来的能源结构将向清洁低碳化转型^[1]。热电联产作为一种高效节能的技术,是实现双碳目标的重要途径。热电联产当中的热化发电无冷源损失,热效率可达85%,远高于大型凝汽式机组热效率(约40%);热化供热的能源利用效率在80%左右,比一般的供热锅炉(能源利用效率60%)高^[2],相比热电分产可减少30%的碳排放^[3]。截止2020年,我国热电联产机组规模达4.98亿千瓦,约占火电装机比重40%^[4]。随着能源转型不断推进,热电联产已然成为了综合能源系统^[5]、能源互联网^[6]的重要组成部分。在“双碳”目标的背景下,对热电联产机组能耗特性的研究深刻影响着各类能源系统的节能与经济运行。大型热电联产机组被广泛用于各类工业用汽和采暖用热,不同应用场景下的热电联产机组供热能耗特性有所差异。而对于这些机组供热能耗特性的研究是热电联产节能优化的基础,诸多学者对此展开了相关研究。黄宇箴等人^[7]研究了单抽机组的能耗特性,并对多台热电联产机组的抽汽分配进行了优化。张璇等人^[8]研究了双抽和抽背热电联产机组的联合运行特性。石慧等人^[9]建立了多机组、多供热模式的厂级供热负荷优化分配模型,可指导变电热负荷条件下的供热负荷最优分配。在实际运行当中,热电联产机组的供热能耗特性受到诸多因素影响,如热网驱动泵类型、给水泵类型、采用供热蝶阀调整等。对此,王海峰等人^[10]研究了供热蝶阀开度对热电联产机组运行效率的影响。段栋伟等人^[11]计算分析了给水泵采用电机驱动改为采用小汽轮机驱动后对机组不同工况下运行特性的影响。李鲲^[12]研究了抽背机组的给水泵选型。王洋等人^[13]基于参比机组法研究了热网循环水泵驱动方式对热电联产机组综合能耗的影响。刘利明^[14]针对热电联产机组热网循环泵电泵改成汽泵进行了经济可行性分析,发现采用原热网抽汽作为汽泵的驱动蒸汽具有更好的经济效益。目前,对于的热电联产机组供热能耗的研究多是单一类型的机组^[15, 16],而从多种因素出发对比不同机组

的供热能耗特性的研究还较少,针对这些因素的研究能够深挖掘热电联产节能潜力,对热电联产节能优化具有重要意义。

本文以3台不同类型的热电联产机组为例,在全工况范围内选择了多组典型工况作为对比基准,从热网循环水泵、给水泵、供热蝶阀3个方面量化对比了不同热电联产机组的能耗特性差异,分析并讨论了不同类型热电联产机组的供热能耗特性和各类因素对供热能耗的影响程度,旨在为热电联产机组的系统优化提供指导。

1 能耗分析模型

1.1 系统变工况分析模型

热电联产机组根据外界电负荷、热负荷需求调整运行工况,此时汽轮机的进口蒸汽流量、通过汽轮机各级组的流量、各级抽汽参数、回热系统参数等参数将发生改变,机组的能耗特性也随之改变。通过热电联产机组变工况计算模型,可获得汽轮机及回热系统各节点参数,进而分析其在不同工况下的运行能耗特性。变工况计算的核心基于弗留格尔公式和凝汽器变工况等理论^[17-18],对此本文采用MATLAB软件对热电联产机组热力系统进行编程。首先,在变工况计算开始前对级组的基准工况进行热系统计算,得到汽轮机任一级组的基准效率,同时根据其他工况拟合出各级组的效率随其通流量的变化规律;然后,给定变工况下的电负荷 P_e 、热负荷 Q_h ,并假定主蒸汽流量,进入迭代计算流程,根据弗留格尔公式确定变工况下各位置抽汽压力,再根据新的热力参数计算出新的各级抽汽份额,确定单位新蒸汽做功,进而确定新的主蒸汽做功;当前后迭代收敛后,即可计算得到机组供热煤耗率。整个计算流程可简化为图1。

通过热电联产机组变工况计算模型,可得出汽轮机的热耗量,进而获得热电联产机组总煤耗量 B_{tp} :

$$B_{tp} = \frac{Q_b}{\eta_b \eta_p LHV} \quad (1)$$

式中: Q —吸热量,kJ·h⁻¹; η —效率,%; LHV—煤的低位发热量,kJ·kg⁻¹;下标b,p—锅炉和管道。

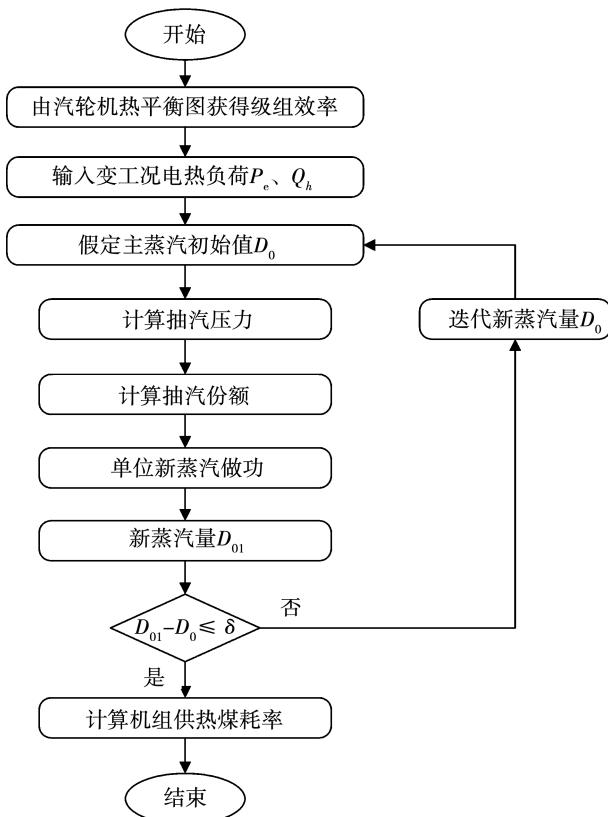


图 1 热电联产机组变工况计算流程

Fig. 1 Calculation process for cogeneration unit under off-design condition

1.2 供热能耗分析方法

供热煤耗率是供热能耗特性的重要评价指标,其计算涉及电热之间的煤耗分摊问题。现有的分摊方法主要有热量法、净效益法、做功能力法、实际焓降法和参比机组法等^[13,19]。我国法定以热量法来分配电热之间的煤耗,其优点是计算简单、便于推行,缺点是只涉及到锅炉效率、管道效率以及煤质,在此三者确定的情况下计算得到的全工况范围内供热煤耗率均为定值,无法合理反映不同工况下的实际供热能耗特性。为了有效分析热电联产机组供热的真实能耗,本文选择参比机组法作为供热煤耗率 b 的计算方法,其可表示为:

$$b = \frac{B_{tp} - B_{tp(c)}}{3.6 Q_h} \quad (2)$$

式中: $B_{tp(c)}$ —参比机组在相同发电功率下的总煤耗量, $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$;参比机组是与热电联产机组回热系统级数相同,热端参数(主蒸汽压力、主蒸汽温度、再热温度)及冷端参数(低压缸排汽压力)随工质流量

变化规律相同的凝汽机组, Q_h —热电联产机组热负荷,MW。

2 热电联产机组供热能耗影响因素

本文通过研究的供热能耗影响因素有:给水泵(小汽轮机驱动或电机驱动)、热网循环水泵(采用小汽轮机驱动或电机驱动)、供热蝶阀(采用或不采用蝶阀),通过计算定量分析这三类因素对供热煤耗率的影响。

2.1 热网循环水泵

当前热网循环泵的主要驱动方式有电机驱动循环泵和小汽轮机驱动循环泵。

热网循环水泵功率可表示为:

$$P_e = \frac{m_c \cdot g \cdot h_c}{10^6 \cdot \eta_c} \quad (3)$$

式中: P —轴功率,MW; m —循环水质量流量, $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$; g —重力加速度, $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$; h —扬程,m;下标 c—热网循环水泵。

热网循环水泵采用电机驱动泵时,耗电 P_{e_c} 为:

$$P_{e_c} = \frac{P_c}{\eta_{dj} \cdot \eta_{jx}} \quad (4)$$

式中:下标 dj,jx—电动机和机械传动。

此时热电联产机组发电负荷为 $P_e + P_{e_c}$,供电负荷为 P_e ,参比机组发电负荷和供电负荷均为 P_e ,即为供热煤耗、电耗一体化评估方法^[13],机组的供热负荷为 Q_h 。

热网循环水泵采用小汽轮机驱动时,热电联产机组以及参比机组发电负荷和供电负荷均为 P_e ,热网循环水泵小汽轮机增加抽汽,此时机组的供热负荷 Q_h 为:

$$Q_h = Q_{h0} - \frac{P_c}{\eta_{xd} \cdot \eta_{jx}} + Q_{by} \quad (5)$$

式中: Q_{h0} —供热机组的抽汽热负荷,MW; Q_{by} —乏汽供热负荷(如有),MW;下标 xd—小汽轮机。

2.2 给水泵

给水泵功率可表示为:

$$P_f = \frac{m_f \cdot g \cdot h_f}{10^6 \cdot \eta_f} \quad (6)$$

式中:下标 f—给水泵。

给水泵采用电机驱动时,热电联产机组的供热

负荷为 Q_h ,热电联产机组和参比机组供电负荷均为 Pe ,发电负荷均为 Pe_0 :

$$Pe_0 = Pe + \frac{P_f}{\eta_{dj} \cdot \eta_{jx}} \quad (7)$$

给水泵采用小汽机驱动时,热电联产机组和参比机组的发电负荷和供电负荷均为 Pe ,热负荷为 Q_h 。

2.3 供热蝶阀运行特性

当热电联产机组采用中排抽汽对外供热时,需要供热蝶阀调节供热抽汽流量及压力,与此同时,会产生节流损失,进而影响机组的能耗。无供热蝶阀

时,供热抽汽压力将随低压缸进汽流量的改变而改变,可通过变工况分析进行计算,然后分析供热蝶阀对供热能耗特性影响。

3 不同热电联产机组的供热能耗影响因素对比分析

为了获得各类因素对热电联产机组能耗特性的影响,选取 315 MW 抽汽供热机组、620 MW 抽汽供热机组和 620 MW 抽汽高背压供热机组进行对比,3 类机组的主要参数如表 1 所示。

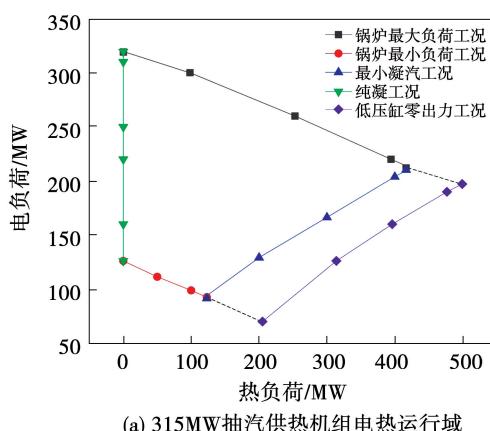
表 1 热电联产机组主要参数

Tab. 1 Main parameters of cogeneration unit

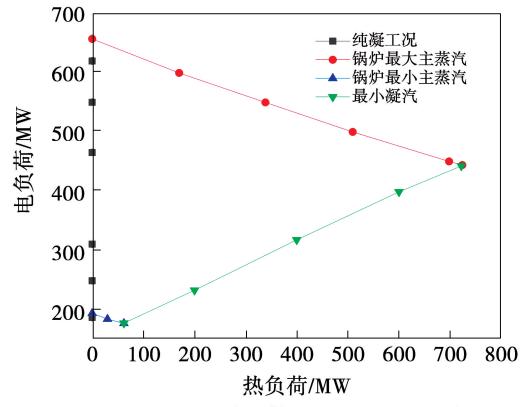
机组容量/MW	最大功率/MW	主蒸汽温度/℃	主蒸汽压力/MPa	再热蒸汽温度/℃	再热蒸汽压力/MPa	排气压力/kPa
315	315	538	16.67	538	3.028	5.2
620	620	566	24.2	566	4.088	16
620	620	566	24.2	566	4.088	35

3.1 不同机组电热负荷特性

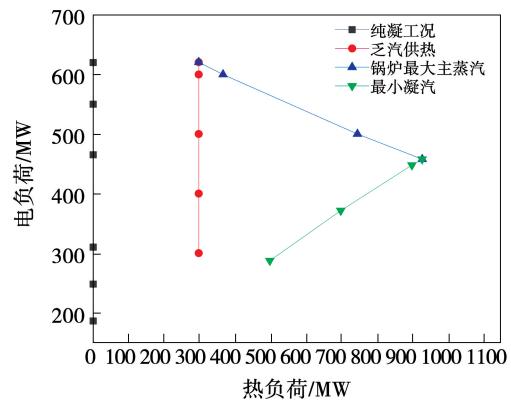
3类机组的电热运行域如图 2 所示。其中,315 MW 抽汽供热机组采用中低压连通管抽汽和低压缸零出力供热技术;620 MW 抽汽供热机组采用中低压连通管抽汽供热技术;620 MW 抽汽高背压供热机组采用乏汽供热和中低压连通管抽汽供热技术,全部乏汽中的部分汽用于供热(最大可提供 297 MW 热负荷),其余乏汽进入空冷岛冷却,在此基础上增加抽汽供热,其电热运行域边界和其他两类机组略有不同。



(a) 315MW 抽汽供热机组电热运行域



(b) 620MW 抽汽供热机组电热运行域



(c) 620MW 抽汽高背压供热机组电热运行域

Fig. 2 Power and heat operation domain of cogeneration units

表 2 为从全工况范围内选择基准典型工况。这些工况点下的供热煤耗率均满足 3 类基准条件:(1) 热网循环水泵采用小汽轮机驱动;(2) 给水泵采用小汽轮机驱动;(3) 采用供热蝶阀。此外,抽供热汽在热网放热后疏水为 85 ℃并汇入除氧器入口。

表 2 选取的 3 类机组基准典型工况

Tab. 2 Selected benchmark typical working conditions of three types of units

315 MW 抽汽供热 机组工况点 (Q_h, P_e)	620 MW 抽汽供热 机组工况点 (Q_h, P_e)	620 MW 高背压 + 抽汽 机组工况点 (Q_h, P_e)
(100,200)	(100,450)	(397,450)
(150,200)	(200,450)	(497,450)
(200,200)	(300,450)	(597,450)
(250,200)	(400,450)	(697,450)
(100,230)	(100,480)	(397,480)
(150,230)	(200,480)	(497,480)
(200,230)	(300,480)	(597,480)
(250,230)	(400,480)	(697,480)
(100,260)	(100,510)	(397,510)
(150,260)	(200,510)	(497,510)
(200,260)	(300,510)	(597,510)

利用参比机组法计算所选工况下的供热煤耗率,结果如图 3 所示。

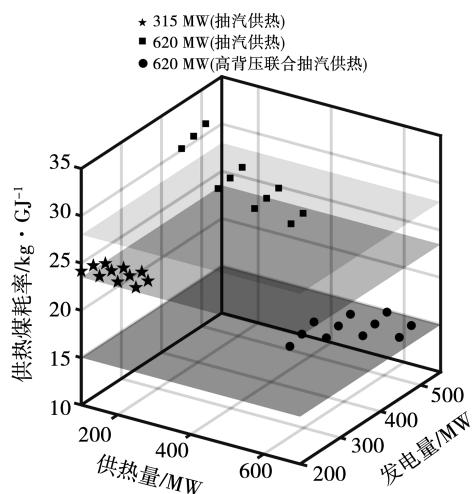


图 3 基准典型工况下的供热煤耗率

Fig. 3 Heating coal consumption rate under benchmark typical working conditions

不同平面分别代表着该类型机组的供热煤耗率平均水平。315 MW 抽汽供热机组基准典型工况下的供热煤耗率分布在 23.5 kg/GJ 附近,在电负荷

固定的条件下其值会随着热负荷的增加而略有下降;620 MW 抽汽供热机组的供热煤耗率分布在 28 kg/GJ 附近,在电负荷固定的条件下其值随着热负荷的增加会发生明显下降;620 MW 高背压联合抽汽供热机组的供热煤耗率分布在 15 kg/GJ 附近,在电负荷固定的条件下,其值随着热负荷的增加而上升。

3.2 不同因素对供热煤耗率的影响

在研究热网循环水泵驱动方式、给水泵驱动方式、是否采用供热蝶阀对不同类型机组供热煤耗率影响规律时,采用单一变量原则,依次对 3 个因素进行分析。

3.2.1 热网循环水泵对供热煤耗率的影响

与小汽轮机驱动的结果相比,3 类热电联产机组的热网循环水泵由电机驱动时,机组供热煤耗率的变化如图 4 所示。可以看出,3 类机组的供热煤耗率基本均有所上升,汽动热网循环水泵利用供热抽汽驱动,乏气再次用于加热热网回水,梯级利用蒸汽热量,电动热网循环水泵利用高品位电能,造成热电联产机组的总煤耗量较大。对于 315 MW 抽汽供热机组,其供热煤耗率升高范围为 0.28 ~ 0.76 kg/GJ;对于 620 MW 抽汽供热机组,其供热煤耗率升高范围为 0.45 ~ 1.21 kg/GJ;对于 620 MW 高背压联合抽汽供热机组,其供热煤耗率升高范围为 0 ~ 0.05 kg/GJ。

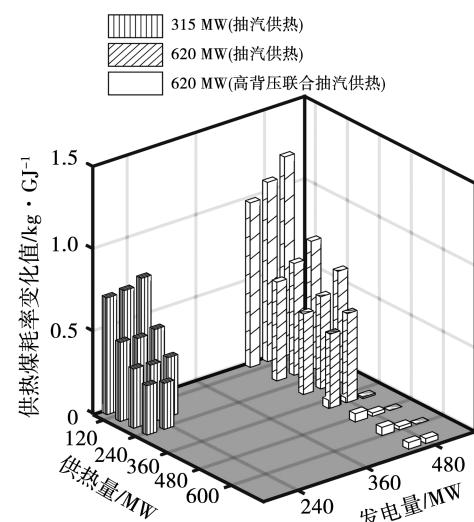


图 4 热网循环水泵采用电机驱动时热电联产机组供热煤耗率变化值

Fig. 4 Change of heating coal consumption rate of cogeneration unit when the heating network circulating water pump is driven by motor

3.2.2 给水泵对供热煤耗率的影响

与给水泵采用小汽轮机驱动相比,3类热电联产机组的给水泵采用电机驱动时,机组供热煤耗率的变化如图5所示。可以看出,315 MW抽汽供热机组供热能耗下降,这是由于机组变工况运行时,汽动给水泵效率变化较大,而电动给水泵运行稳定,进而给水泵采用电动时的机组供热煤耗率较低。煤耗率下降范围为0.99~0.21 kg/GJ;620 MW抽汽供热机组、620 MW高背压联合抽汽供热机组供热煤耗率会上升,上升范围分别为0.51~0.77 kg/GJ和0.22~0.41 kg/GJ。

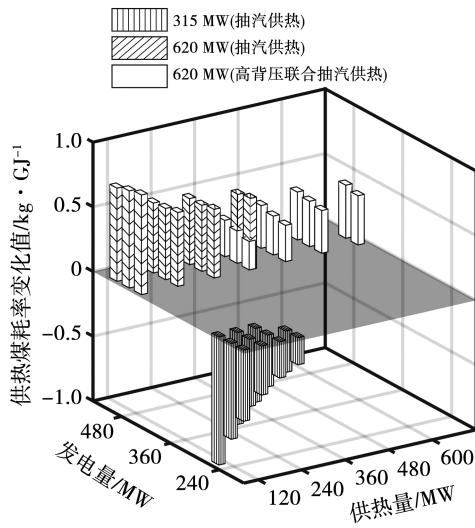


图5 给水泵采用电机驱动时热电联产机组供热煤耗率变化值

Fig. 5 Change of heating coal consumption rate of cogeneration unit when the feed water pump is driven by motor

3.2.3 供热蝶阀对供热煤耗率的影响

与采用蝶阀的结果相比,3类热电联产机组不采用供热蝶阀时,机组的供热参数将随着供热抽汽量的增加而变化,供热煤耗率随之改变,变化情况如图6所示。供热抽汽量较大时,节流损失较大,无供热蝶阀时,3类机组的供热煤耗率均不同程度下降,对于315 MW抽汽供热机组,其供热煤耗率下降范围为在3.94~5.69 kg/GJ;对于620 MW抽汽供热机组,其供热煤耗率下降范围为9.24~12.29 kg/GJ;对于620 MW高背压联合抽汽供热机组,其供热煤耗率下降范围为3.25~5.46 kg/GJ。

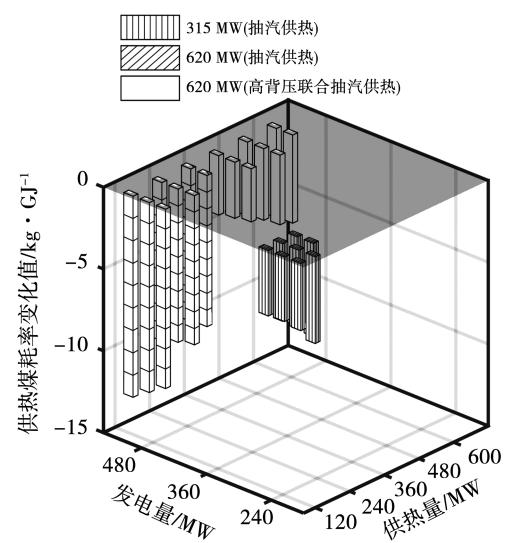


图6 不采用供热蝶阀时热电联产机组供热煤耗率变化值

Fig. 6 Change of heating coal consumption rate of cogeneration unit without heating butterfly valve

3.3 对比分析

热网循环水泵类型、给水泵类型、是否采用供热蝶阀对3类热电联产机组的供热煤耗率的具体影响程度不同。通过进一步对比分析可知,在这3类因素当中,供热蝶阀对机组的供热煤耗率影响最大,不采用供热蝶阀的结果和采用供热蝶阀的结果相比,供热煤耗率最大可下降12.29 kg/GJ;此外,热网循环水泵、给水泵的类型也给供热煤耗率带来一定影响,相比供热蝶阀而言程度较小。热网循环水泵采用电机驱动的供热煤耗率相比采用小汽轮机驱动会上升,上升值最大为1.21 kg/GJ;给水泵采用电机驱动和采用小汽轮机驱动相比,不同类型机组的供热煤耗率变化不同,可能上升或下降,上升值最大为0.77 kg/GJ,下降值最大为0.99 kg/GJ。

4 结论

对不同类型热电联产机组在全工况下的供热能耗特性展开研究,在全工况范围内选择几个典型工况,对比分析了热网循环水泵、给水泵以及供热蝶阀3类因素对热电联产机组供热煤耗率的影响,结果表明:

(1) 本文所对比的3类机组,采用参比机组法

计算供热煤耗率时:620 MW 高背压联合抽汽供热机组最大,315 MW 抽汽供热机组其次,620 MW 抽汽供热机组最小。在电负荷固定的情况下,315 和 620 MW 抽汽供热机组,供热煤耗率随着热负荷的增加而下降;620 MW 高背压联合抽汽供热机组,供热煤耗率随着热负荷的增加而上升。

(2) 当热电联产机组的热网循环水泵采用电机驱动时,与采用小汽轮机驱动相比,3 类机组的供热煤耗率均有所上升。其中,平均供热煤耗率上升幅度:620 MW 高背压联合抽汽供热机组最大,315 MW 抽汽供热机组其次,620 MW 抽汽供热机组最小。

(3) 当热电联产机组的给水泵采用电机驱动时,与采用小汽轮机驱动相比,供热煤耗率可能上升、也可能下降,这主要与给水泵组的运行性能相关。

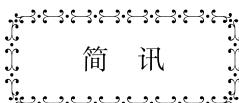
(4) 当热电联产机组不采用供热蝶阀时,与采用供热蝶阀相比,3 类机组的供热煤耗率均会下降。其中,平均供热煤耗率下降幅度:620 MW 抽汽供热机组最大,315 MW 抽汽供热机组其次,620 MW 高背压联合抽汽供热机组最小。

参考文献:

- [1] 喻小宝,郑丹丹,杨康,等.“双碳”目标下能源电力行业的机遇与挑战[J].华电技术,2021,43(6):21–32.
YU Xiao-bao, ZHENG Dan-dan, YANG Kang, et al. Opportunities and challenges of the energy and power industry under the "dual carbon" goal [J]. Huadian Technology, 2021, 43(6):21–32.
- [2] 智研咨询.2017–2023年中国热电联产行业深度调研及投资前景预测报告[EB/OL].(2017–07)[2022–06–30].
<https://www.chyxx.com/research/201707/541100.html>.
Zhiyan Consulting. 2017–2023 China cogeneration industry in-depth research and investment prospect forecast report [EB/OL]. (2017–07) [2022–06–30]. <https://www.chyxx.com/research/201707/541100.html>.
- [3] GE Z,ZHANG F,SUN S,et al. Energy analysis of cascade heating with high back-pressure large-scale steam turbine [J]. Energies, 2018,11(1):119.
- [4] 中国热电联产现状与前景[EB/OL].(2021–11–04)[2022–06–30].
<http://zzkb.org/index.php/chanyeze/919.html>.
Status and prospect of CHP in China [EB/OL]. (2021–11–04)
- [5] 金宇晖,张俊礼,沈炯.综合能源系统热电联产协调控制[J].工程热物理学报,2022,43(4):870–877.
JIN Yu-hui, ZHANG Jun-li, SHEN Jiong. Coordinated control of cogeneration in integrated energy systems [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2022, 43(4):870–877.
- [6] 魏震波,黄宇涵,高红均,等.含电转气和热电解耦热电联产机组的区域能源互联网联合经济调度[J].电网技术,2018,42(11):3512–3520.
WEI Zhen-bo, HUANG Yu-han, GAO Hong-jun, et al. Joint economic scheduling of power-to-gas and thermoelectric decoupling CHP in regional energy internet [J]. Power System Technology, 2018, 42(11):3512–3520.
- [7] 黄宇箴,陈彦奇,吴志聪,等.碳中和背景下热电联产机组抽汽分配节能优化[J].发电技术,2023,44(1):85–93.
HUANG Yu-zhen, CHEN Yan-qi, WU Zhi-cong, et al. Energy saving optimization of extraction steam distribution for cogeneration units under carbon neutral background [J]. Power Generation Technology, 2023, 44(1):85–93.
- [8] 张璇,钟文琪,石岩,等.双抽热电机组–抽背热电机组双机联合运行特性及优化研究[J].中国电机工程学报,2023,43(1):201–213.
ZHANG Xuan, ZHONG Wen-qi, SHI Yan, et al. Study on the combined operation characteristics and optimization of dual-extraction thermal power units and back-extracted thermal power units [J]. Proceedings of the CSEE, 2023, 43(1):201–213.
- [9] 石慧,王洋,马汀山,等.多机组、多模式的热电联产厂级供热优化[J].热力发电,2022,51(1):123–129.
SHI Hui, WANG Yang, MA Ting-shan, et al. Plant-level heat supply optimization of multi-unit and multi-mode cogeneration [J]. Thermal Power Generation, 2022, 51(1):123–129.
- [10] 王海峰,王胜,刘岩,等.供热蝶阀开度对热电联产机组运行效率影响研究[J].电力设备管理,2020(12):70–72,103.
WANG Hai-feng, WANG Sheng, LIU Yan, et al. Research on the influence of heating butterfly valve opening on the operation efficiency of cogeneration units [J]. Power Equipment Management, 2020(12):70–72,103.
- [11] 段栋伟,徐钢,刘琦,等.600 MW 亚临界空冷机组电泵改汽泵性能评估[J].电站系统工程,2017,33(1):29–33.
DUAN Dong-wei, XU Gang, LIU Qi, et al. Performance evaluation of replacing electric pump with steam pump for 600 MW subcritical air-cooled unit [J]. Power System Engineering, 2017, 33(1):29–33.

- [12] 李 鳩. 基于 50 MW 抽汽背压式热电联产机组给水泵驱动选择研究 [J]. 自动化应用, 2019(5): 140–141.
LI Kun. Research on pump selection based on 50 MW extraction steam back pressure cogeneration unit [J]. Automation Application, 2019(5): 140–141.
- [13] 王 洋, 马汀山, 吕 凯, 等. 热网循环水泵驱动方式对供热机组综合能耗的影响研究 [J]. 热力发电, 2022, 51(5): 73–80.
WANG Yang, MA Ting-shan, LYU Kai, et al. Study on influence of driving modes of circulating water pump in heat supply network on comprehensive energy consumption of cogeneration power unit [J]. Thermal Power Generation, 2022, 51(5): 73–80.
- [14] 刘利明. 热电联产机组热网循环泵电泵改汽泵节能研究 [J]. 资源节约与环保, 2020(6): 1.
LIU Li-ming. Energy-saving research on replacing electric pump of heat network circulating pump with steam pump in cogeneration unit [J]. Resources Economization & Environment Protection, 2020(6): 1.
- [15] 莫子渊, 顾煜炯, 陆树银, 等. 600 MW 超临界供热机组能量梯级利用及对比分析 [J]. 电力科学与工程, 2021, 37(4): 55–62.
MO Zi-yuan, GU Yu-jiong, LU Shu-yin, et al. Energy cascade utilization and comparative analysis of 600 MW supercritical heating unit [J]. Electric Power Science and Engineering, 2021, 37(4): 55–62.
- [16] 许朋江, 徐 睿, 邓 佳, 等. 330 MW 机组采暖抽汽对发电热经济性的影响分析 [J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(19): 6257–6264.
XU Peng-jiang, XU Rui, DENG Jia, et al. Analysis of the influence of 330 MW unit heating extraction on the thermal economy of power generation [J]. Proceedings of the CSEE, 2020, 40(19): 6257–6264.
- [17] CHEN Ran, SUNG Wen-pei, KAO C M. Frontiers of energy and environmental engineering [M]. Boca Raton, USA: CRC Press, 2012.
- [18] 杜亚荣, 韩中合, 付文锋, 等. 凝汽器变工况特性计算分析 [J]. 汽轮机技术, 2007, 49(4): 256–258.
DU Ya-rong, HAN Zhong-he, FU Wen-feng, et al. Analysis the condenser of economy in variable work condition [J]. Turbine Technology, 2007, 49(4): 256–258.
- [19] 严俊杰, 黄锦涛, 何茂刚. 冷热电联产技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
YAN Jun-jie, HUANG Jin-tao, HE Mao-gang. Cogeneration technology of cooling, heating and power [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.

(姜雪梅 编辑)



简讯

Entergy 能源公司在德克萨斯州建造一座氢燃料发电厂

据官网 5 月 2 日报道, Entergy 能源公司正在德克萨斯州建造一座以氢为燃料的发电厂。这个耗资 15 亿美元的项目还具备额外的能力:除了燃烧天然气外, 它的涡轮机还可以使用氢燃料, 从而在燃烧时不会排放温室气体。

三菱电力公司正在为 Entergy 公司的奥兰治县项目制造两台涡轮机, 这是该公司正在销售的一种不需要任何改变就可以燃烧 30% 的氢气和天然气的原型机, 其经过三菱电力美洲公司总裁兼首席执行官 Bill New-som 所说的“小修改”后就可以燃烧 100% 的氢气。

(孙嘉忆摘译自 <https://hydrogen-central.com>)