

基于 EBSILON 的热电厂热电负荷分配优化研究

任鑫¹, 王渡¹, 齐结红², 王国平²

(1. 上海电力大学 能源与机械工程学院, 上海 200090; 2. 上海电力大学 自动化工程学院, 上海 200090)

摘要:为优化热电厂热电负荷分配,提高热电厂运行热经济性,利用 EBSILON 软件建立某热电厂 350 和 330 MW 热电联产机组热力系统仿真模型和热经济性模型,根据抽汽点的蒸汽焓值进行热负荷计算,采用烟分析方法对热电联产机组进行能耗特性分析,得到两台机组在安全运行区间内的烟效率分布规律。通过遗传算法,研究不同热电负荷分配方式对热电厂热经济性的影响,进一步对热电厂典型日的热电负荷进行分配优化。结果表明:当机组供热流量达到最大值且电负荷为该供热流量下的最大值时,机组的烟效率达到最大值,对电负荷和热负荷进行分配优化的节能收益大于对单一因素优化;采用遗传算法优化热电负荷后,典型工况下全厂标准煤耗量降低 1.75 t/h、发电标准煤耗率降低 3.65 g/(kW·h)、烟效率提高 0.49%;典型日全厂标准煤耗量降低 35 t/d、发电标准煤耗率降低 3.16 g/(kW·h)、烟效率提高 0.41%。

关键词:热电联产;电厂仿真;遗传算法;负荷分配

中图分类号:TK212

文献标识码:A

DOI:10.16146/j.cnki.rndlge.2023.01.010

[引用本文格式]任鑫,王渡,齐结红,等. 基于 EBSILON 的热电厂热电负荷分配优化研究[J]. 热能动力工程,2023,38(1): 82-89. REN Xin, WANG Du, QI Jie-hong, et al. Optimization study on thermal and electric load distribution of thermal power plant based on EBSILON[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2023, 38(1): 82-89.

Optimization Study on Thermal and Electric Load Distribution of Thermal Power Plant based on EBSILON

REN Xin¹, WANG Du¹, QI Jie-hong², WANG Guo-ping²

(1. College of Energy and Mechanical Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai, China, Post Code: 200090;
2. College of Automation Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai, China, Post Code: 200090;)

Abstract: In order to optimize the heat and electric load distribution of thermal power plant and improve the thermal economy of thermal power plant operation, the thermal system simulation model and thermal economy model of 350 MW and 330 MW cogeneration units of a thermal power plant were established by using EBSILON software. The heat load was calculated according to the steam enthalpy at the extraction point. The energy consumption characteristics of cogeneration units were analyzed by the exergy analysis method, and the distribution law of exergy efficiency of the two units in the safe operation section was obtained. Through genetic algorithm, the influence of different heat and electric load distribution methods on the thermal economy of thermal power plant was studied, and the typical daily heat and electric load distribution of thermal power plant was further optimized. The results show that when the heating flow of the unit reaches the maximum value and the power generation reaches the maximum value under the heating flow, the exergy efficiency of the unit reaches the maximum value, and the energy saving benefit of optimizing the distribution of electric load and heat load is greater than that of optimizing a single factor. After u-

收稿日期:2022-04-28; 修订日期:2022-05-20

基金项目:国家自然科学基金(52076126)

Fund-supported Project: National Natural Science Foundation of China(52076126)

作者简介:任鑫(1997-),男,上海电力大学硕士研究生.

通讯作者:王渡(1980-),男,上海电力大学副教授.

sing genetic algorithm to optimize the cogeneration load, under typical working conditions, the standard coal consumption of the whole plant is reduced by 1.75 t/h, the standard coal consumption rate of power generation is reduced by 3.65 g/(kW · h), and the exergy efficiency is increased by 0.49%; in a typical day, the standard coal consumption of the whole plant is reduced by 35 t/d, the standard coal consumption rate of power generation is reduced by 3.16 g/(kW · h), and the exergy efficiency is increased by 0.41%.

Key words: cogeneration, power plant simulation, genetic algorithm, load distribution

引 言

目前,大多数热电厂采用“以热定电”的生产模式,大大降低了系统的灵活性^[1]。进一步挖掘热电联产机组的节能潜力,对实现节能减排目标具有重要意义^[2]。

热电联产机组的能耗特性是热电联产节能研究的基础。陈媛媛等^[3-5]基于等效焓降法建立了热电联产机组热经济性诊断方法。江浩等人^[6]基于循环函数法提出供热机组的新节能指标体系。郑莆燕等人^[7]采用热平衡法计算了供热改造机组变工况时各项热经济性指标的变化趋势。张龙英等人^[8]建立供热机组调峰性能的预测模型,得到了供热机组的可调峰范围。郭建等人^[9]基于 EBSILON 仿真模型从供热热量成本角度分析机组不同供热汽源下的经济性。

热电联产机组热电耦合关系复杂,多位学者对热电联产机组的运行优化进行了研究。宫卫平等人^[10]建立了联机供热系统模型,得到典型工况下热负荷变化对总煤耗量和发电标准煤耗率的影响。吴涛等人^[11]提出一种新的热电联产机组供热煤耗率和发电煤耗率推算方法,进一步找出在给定供热负荷的条件下使总利润最大的发电负荷分配方式。温志刚等人^[12-14]分别研究了模拟退火算法、多维动态规划算法及粒子群算法在热电负荷优化分配中的应用。

工业供热机组负荷分配研究以及实际生产运行过程中,通常以供热流量代替热负荷进行负荷分配,并通过供热流量计算得到供热量进行收益计算,相当于按供热流量进行计费,未考虑到由于供热蒸汽焓值在生产运行过程中发生的变化,此方法计算得到的供热量与供热蒸汽拥有的实际热量存在一定差

异,造成了一定的热量浪费。

本文建立某热电厂 350 和 330 MW 热电联产机组热力系统仿真模型和热经济性模型,根据抽汽点的蒸汽焓值进行热负荷计算,在安全运行区间内采用焗方法对热电联产机组进行能耗特性分析。根据抽汽点的蒸汽焓值计算热负荷,通过遗传算法研究典型工况下不同热电负荷分配方式对热电厂热经济性的影响,进一步对热电厂典型日的热电负荷进行分配优化,得到典型日中热电负荷不断变化情况下的节能量。

1 热电联产机组建模

1.1 热电联产机组热力系统模型

1.1.1 机组概况

以某工业园区热电厂为例,采用 EBSILON 软件建立热力系统模型和热经济性模型。该热电厂目前由 1 台 350 MW 和 1 台 330 MW 凝汽式机组供热改造后进行工业抽汽供热,两台机组均为一次中间再热,均采用再热冷段蒸汽进行工业抽汽供热,冷段再热抽汽通过供热调节阀将压力控制至约 1.5 MPa 后对外供汽,锅炉热效率为 0.93,管道热效率为 0.99。两台机组额定工况主要参数如表 1 所示。

表 1 机组额定工况参数表

Tab.1 Parameter table of unit rated working condition

机组	主蒸汽流 量/t·h ⁻¹	主蒸汽 温度/℃	主蒸汽压 力/MPa	再热蒸汽 温度/℃	再热蒸汽 压力/MPa	背压 /kPa	发电机功 率/MW
1 号	991.0	540	17.75	540	3.978	4.5	350.210
2 号	1 032.7	538	16.67	538	3.668	4.9	330.019

1.1.2 热力系统建模

根据该热电厂两台机组的热平衡图,利用德国 Steag 公司开发的 EBSILON 软件对该热电厂进行仿真建模。两台机组的仿真系统如图 1 所示。

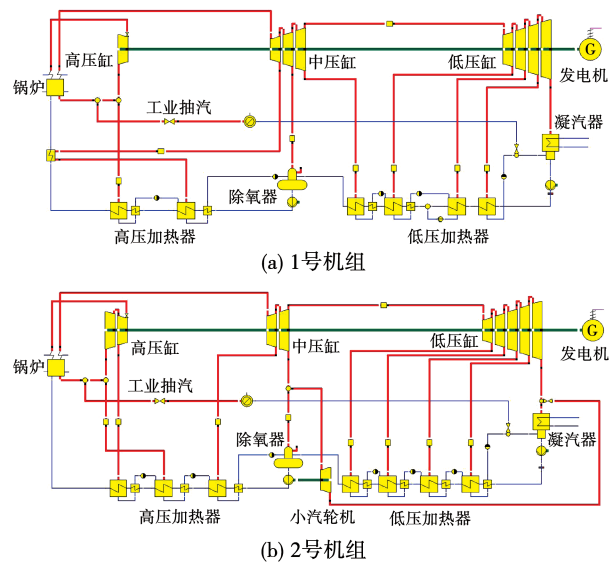


图 1 机组仿真系统图
Fig. 1 Unit simulation system diagram

表 2 机组典型工况下电功率仿真值与设计值对比

Tab. 2 Comparison of electric power design value and simulation value under typical working conditions of unit

参数	1 号机组				2 号机组			
	VWO	THA	75% THA	50% THA	VWO	THA	75% THA	50% THA
主蒸汽流量/ $t \cdot h^{-1}$	1 080	991	733	485	1 086	1 032.7	740.7	494.5
发电机功率仿真值/MW	377.292	350.965	263.227	175.436	342.887	329.942	247.704	165.070
发电机功率设计值/MW	376.288	350.210	262.739	175.153	342.888	330.109	247.513	165.002
误差/%	0.27	0.22	0.19	0.16	0	-0.05	0.08	0.04

1.2 热电联产机组热经济性模型

热电联产机组的标准煤耗量可用下式进行计算

$$B = \frac{D_0(h_0 - h_{fw}) + D_{rh}(h'_{rh} - h_{rh})}{\eta_b \eta_p Q_{LHV}} \quad (2)$$

式中: B —标准煤耗量,kg/s; D_0 —主蒸汽流量,kg/s; h_0 —主蒸汽焓值,kJ/kg; h_{fw} —给水焓值,kJ/kg; D_{rh} —再热蒸汽流量,kg/s; h'_{rh} —再热热段蒸汽焓值,kJ/kg; h_{rh} —再热冷段蒸汽焓值,kJ/kg; η_b —锅炉热效率; η_p —管道热效率; Q_{LHV} —标准煤的低位发热量,kJ/kg。

该热电厂工业供热蒸汽不进行回收,通过凝汽器进行补水,假设补水参数为 20 ℃、0.1 MPa。以工业抽汽点的蒸汽焓值进行热负荷计算,表达式为:

$$Q_h = D_h(h_h - h_z) \quad (3)$$

式中: Q_h —热负荷,kW; D_h —供热流量,kg/s; h_h —工业抽汽点蒸汽焓值,kJ/kg; h_z —补水焓值,kJ/kg。

供热流量为 80 t/h 时,两台机组在不同电负荷

EBSILON 软件基于能量平衡和质量平衡进行计算,变工况时汽轮机的压力按弗留格尔公式进行计算。

$$\frac{D_A}{D_B} = \sqrt{\frac{p_{1A}^2 - p_{2A}^2}{p_{1B}^2 - p_{2B}^2}} \sqrt{\frac{T_{1B}}{T_{1A}}} \quad (1)$$

式中: D —通过级组的蒸汽流量,t/h; p_1 、 p_2 —一级组前、后的蒸汽压力,MPa; T_1 —一级组前的蒸汽温度,K;下角标 A,B—汽轮机的两种工况。

1.1.3 误差分析

将热电厂两台机组阀门在全开工况 (Valve Wide Open, VWO)、汽机热耗率验收工况 (Turbine Heat Acceptance, THA)、75% THA 和 50% THA 工况下电功率的仿真值与热平衡图中的设计值进行对比,验证仿真模型的精度,对比结果如表 2 所示。仿真值与设计值的最大相对误差小于 0.3%,满足工程计算精度要求。

下的热负荷计算结果如表 3 所示。由表可知,根据抽汽点蒸汽焓值计算热负荷的方法能够反映出电负荷变化对热负荷的影响和相同供热流量在不同机组间对应的热负荷的差异,解决了传统热负荷计算方法中相同供热流量对应的热负荷始终保持不变的问题。热电厂根据新的计算方法得到的供热量计费更加合理,并能更加精确地进行热电负荷分配,避免热量浪费。

表 3 供热流量为 80 t/h 时两台机组热负荷数据

Tab. 3 Heat load data of two units when the heating flow is 80 t/h

电负荷/MW	1 号机组热负荷/MW	2 号机组热负荷/MW
180	66.5	65.6
240	66.2	65.4
300	65.7	65.4

根据新的热负荷计算方法,供热标准煤耗量为:

$$B_h = \frac{Q_h}{\eta_h \eta_p Q_{LHV}} \tag{4}$$

式中: B_h 供热标准煤耗量,kg/s。

发电标准煤耗量为:

$$B_e = B - B_h \tag{5}$$

式中: B_e 发电标准煤耗量,kg/s。

发电标准煤耗率为:

$$b_e^s = \frac{B_e}{P_e} \tag{6}$$

式中: b_e^s —发电标准煤耗率,g/(kW·h); P_e —发电量,kW。

焓效率 η_{ex} 是机组的输出焓与输入焓之比,输出焓包括发电焓和热量焓,设置环境条件为 20℃和 0.1 MPa。由于凝汽器补水的温度和压力与环境条件相同,因此凝汽器补水焓为 0 kW。焓效率计算公式为:

$$\begin{cases} \eta_{ex} = \frac{E_{P_e} + E_{Q_h}}{E_f} \\ E_{P_e} = P_e \\ E_{Q_h} = D_h [h_h - h_m - T_m (s_h - s_m)] \end{cases} \tag{7}$$

式中: η_{ex} —焓效率; E_{P_e} —发电焓,kW; E_{Q_h} —热量焓,kW; E_f —煤的化学焓,kW; h_m —环境条件水的焓值,kJ/kg; T_m —环境温度,K; s_h —供热蒸汽熵,kJ/(kg·K); s_m —环境条件下水的熵值,kJ/(kg·K)。

2 热电负荷分配方法

2.1 优化模型

热电厂各台机组的标准煤耗量根据式(2)计算得到。以热电厂各台机组标准煤耗量之和最小为优化目标,目标函数及约束条件为:

$$\begin{cases} B_0 = \sum_{i=1}^n B_i \\ D_{0i} \leq D_{0i,max} \\ D_{0i} \geq D_{0i,min} \\ P_{hi} \geq P_{h,min} \\ D_{hi} \leq D_{h,max} \end{cases} \tag{8}$$

式中: B_0 —全厂标准煤耗量,t/h; B_i —第*i*台机组标

准煤耗量,t/h; D_{0i} —第*i*台机组主蒸汽流量,t/h; $D_{0i,max}$ —第*i*台机组汽轮机最大进汽流量,t/h; $D_{0i,min}$ —第*i*台机组锅炉最低稳燃负荷对应的主蒸汽流量,t/h; p_{hi} —第*i*台机组工业抽汽点压力,MPa; $p_{h,min}$ —供热最低压力,MPa; D_{hi} —第*i*台机组供热流量,t/h; $D_{h,max}$ —单台机组最大供热流量,t/h。

通过热力系统仿真模型计算,拟合得到两台机组的安全运行区间如图 2、图 3 所示。其中,线段 AB、BC、CD 和 DE 分别表示热电联产机组运行时的汽轮机最大进汽流量线、单台机组最大供热流量线、供热最低压力线和锅炉最低稳燃负荷线。两台机组的安全运行区间存在差异的主要原因是两台机组的设计参数不同。

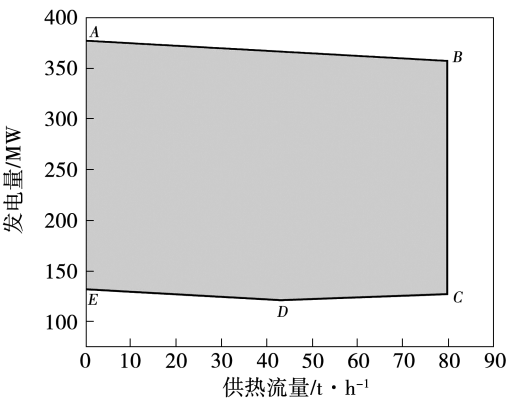


图 2 1 号机组安全运行区间
Fig.2 Safe operation section of unit 1

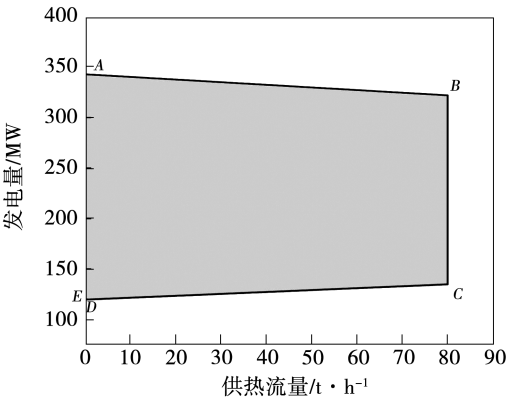


图 3 2 号机组安全运行区间
Fig.3 Safe operation section of unit 2

两台机组的安全运行区间相关数据如表 4 所示。

表 4 机组安全运行区间相关数据

Tab.4 Relevant data of unit safe operation section

参数	1 号	2 号
最大发电量 $P_{e,max}/MW$	377	343
锅炉最低稳燃负荷 $P_{e,min}/MW$	132	120
最大供热流量 $D_{h,max}/t \cdot h^{-1}$	80	80
供热最低压力 $p_{h,min}/MPa$	1.5	1.5
汽轮机最大进汽流量线斜率 K_{AB}	-0.250 1	-0.260 8
供热最低压力线斜率 K_{CD}	0.162 6	0.189 5
锅炉最低稳燃负荷线斜率 K_{DE}	-0.250 1	-0.260 8

2.2 遗传算法

采用遗传算法进行热电负荷分配优化。遗传算法基于自然界中生物的进化过程,通过模拟生物演变进程搜寻最优解。遗传算法是一种全局优化算法,克服了一般的迭代方法容易陷入局部极小的陷阱而出现"死循环"现象的缺点,具有收敛性好,计算时间少,鲁棒性高等优点。遗传算法优化热电负荷的流程如图 4 所示。设置遗传算法相关参数:入口规模为 15;交叉的概率 0.6;突变的概率 0.5;遗传算法中止进化代数 50。

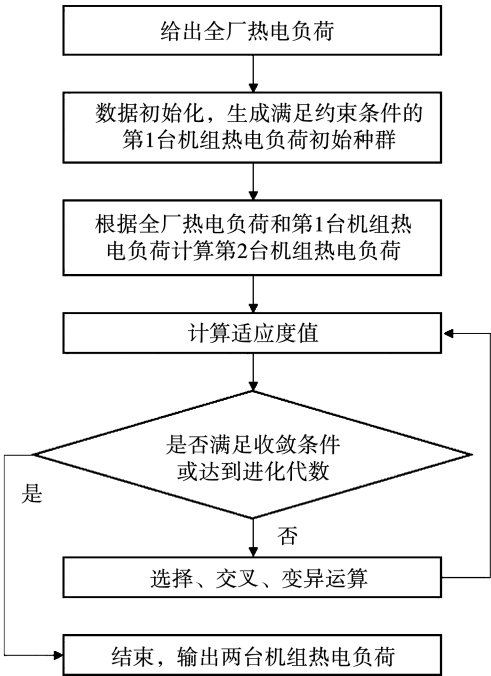


图 4 遗传算法流程
Fig.4 Flowchart of genetic algorithm

3 热电联产机组优化运行研究

3.1 机组能耗特性分析

对该热电厂的两台机组在安全运行区间的烟效率进行了计算。烟效率兼顾了能量的数量和品质两方面属性,两台机组在安全运行区间的烟效率如图 5 和图 6 所示。由图可知:电负荷不变,随供热流量增大烟效率逐渐增大,主要是由于工业抽汽供热虽然在通过供热调节阀时有一定的节流损失,但这部分损失小于因抽汽供热减小的设备烟损失;供热流量不变,烟效率随电负荷增大而增大,主要是由于电负荷较高时机组运行参数更接近设计值,各设备的烟效率更高。热电联产机组供热流量达到最大值且电负荷为该供热流量下最大值时,机组烟效率达到最大。1 号机组的烟效率最大值为 42.87%,2 号机组的烟效率最大值为 42.01%,两台机组的烟效率存在差异的原因是,二者的设计参数不同。

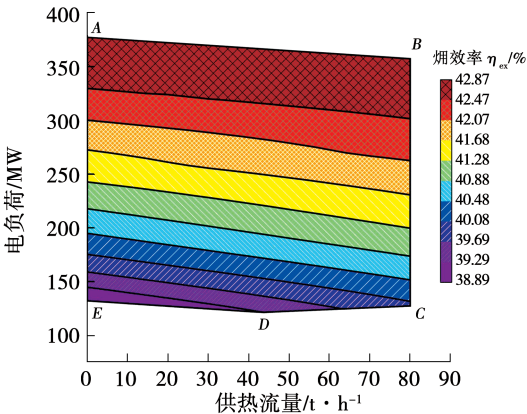


图 5 1 号机组的烟效率
Fig.5 Exergy efficiency of unit 1

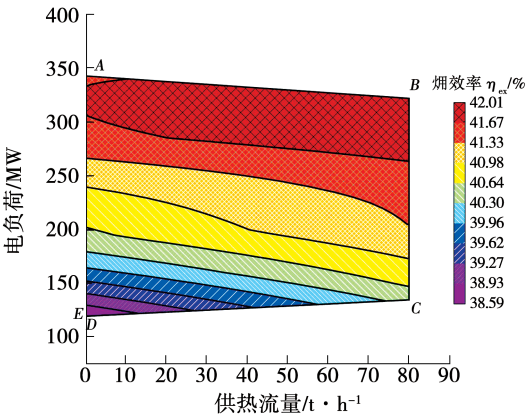


图 6 2 号机组的烟效率
Fig.6 Exergy efficiency of unit 2

3.2 热电负荷分配对热电厂热经济性的影响

该热电厂目前热电负荷分配方式为电负荷和供热流量在两台机组间平均分配。根据该热电厂近一年的历史运行数据,选取总电负荷为 480 MW、总供热流量为 120 t/h 的典型工况,根据新的热负荷计算方法,通过遗传算法分别进行电负荷、热负荷和热电负荷分配优化,并与目前热电厂负荷分配方式进行对比。

按当前热电厂的负荷分配方式,即每台机组的电负荷和供热流量均为 240 MW 和 60 t/h 时,该热电厂各机组以及全厂运行相关数据如表 5 所示。

表 5 热电厂当前运行相关数据

Tab.5 Relevant data of current operation of thermal power plant

参数	1 号机组	2 号机组	全厂
电负荷/MW	240	240	480
供热流量/t · h ⁻¹	60	60	120
热负荷/MW	49.8	49.2	99
标准煤耗量/t · h ⁻¹	75.01	75.48	150.49
发电标准煤耗率/g · (kW · h) ⁻¹	284.87	287.12	285.99
烟效率/%	41.66	41.35	41.50

3.2.1 电负荷分配优化

保持两台机组的热负荷不变,通过遗传算法对两台机组的电负荷进行分配优化,结果如表 6 所示。与该热电厂原热电负荷分配方式相比,全厂标准煤耗量减小 1.65 t/h,发电标准煤耗率降低 3.43 g/(kW · h),烟效率提高 0.46%。

表 6 电负荷分配优化结果

Tab.6 Optimization results of electric load distribution

参数	1 号机组	2 号机组	全厂
电负荷/MW	331.8	148.2	480
供热流量/t · h ⁻¹	60.6	59.6	120.2
热负荷/MW	49.8	49.2	99
标准煤耗量/t · h ⁻¹	99.14	49.7	148.84
发电标准煤耗率/g · (kW · h) ⁻¹	278.74	291.13	282.56
烟效率/%	42.77	40.36	41.96

3.2.2 热负荷分配优化

保持两台机组的电负荷不变,通过遗传算法

对两台机组的热负荷进行分配优化,结果如表 7 所示。与该热电厂原热电负荷分配方式相比,全厂标准煤耗量减小 0.01 t/h,发电标准煤耗率降低 0.03 g/(kW · h),烟效率提高 0.01%。

表 7 热负荷分配优化结果

Tab.7 Optimization results of heat load distribution

参数	1 号机组	2 号机组	全厂
电负荷/MW	240	240	480
供热流量/t · h ⁻¹	80	40	120
热负荷/MW	66.2	32.8	99
标准煤耗量/t · h ⁻¹	76.4	74.08	150.48
发电标准煤耗率/g · (kW · h) ⁻¹	281.54	290.38	285.96
烟效率/%	41.79	41.22	41.51

3.2.3 热电负荷分配优化

通过遗传算法对两台机组的电负荷和热负荷进行分配优化,结果如表 8 所示。与该热电厂原热电负荷分配方式相比,全厂标准煤耗量减小 1.75 t/h,发电标准煤耗率降低 3.65 g/(kW · h),烟效率提高 0.49%。

表 8 热电负荷分配优化结果

Tab.8 Optimization results of heat and electric load distribution

参数	1 号机组	2 号机组	全厂
电负荷/MW	344.9	135.1	480
供热流量/t · h ⁻¹	40.6	80	120.6
热负荷/MW	33.4	65.6	99
标准煤耗量/t · h ⁻¹	101.34	47.4	148.74
发电标准煤耗率/g · (kW · h) ⁻¹	280.87	286.1	282.34
烟效率/%	42.74	40.40	41.99

在此典型工况下,根据新的热负荷计算方法,通过遗传算法对电负荷或热负荷单一因素进行分配优化。与热电厂原负荷分配方式相比,均能减小全厂标准煤耗量,降低发电标准煤耗率,提高烟效率。相比于对热负荷进行分配优化,对电负荷进行分配优化的节能收益更大,主要原因是该热电厂发电占总输出能量的比例远大于供热,分配电负荷对全厂热经济性的影响更大。同时,对电负荷和热负荷进行分配优化的节能效果优于对单一因素进行优化。

4 典型日热电负荷分配优化

通过遗传算法对热电负荷进行合理分配有一定的节能空间,进一步对该热电厂典型日的热电负荷进行优化分配。表 9 为该热电厂某典型日的电负荷和供热流量数据。

表 9 热电厂典型日电负荷和供热流量数据
Tab.9 Typical daily electric load and heating
flow data of thermal power plant

时间/h	发电量/MW	供热流量/t · h ⁻¹
1	508.6	135.3
2	496.2	132.4
3	482.7	136.4
4	452.3	136.7
5	480.6	133.2
6	493.8	135.8
7	546.1	122.6
8	556.9	124.3
9	532.3	127.5
10	480.6	122.1
11	446.2	122.4
12	432.4	123.7
13	412.6	123.8
14	405.3	116.4
15	471.8	120.2
16	503.6	115.7
17	465.1	114.2
18	483.5	119.1
19	472.7	116.7
20	450.3	115.8
21	446.9	116.5
22	417.1	112.3
23	473.6	122.4
24	492.5	127.6

热电厂当前负荷分配方式为电负荷和供热流量在两台机组间平均分配。根据上述数据,以新的热负荷计算方法计算得到热电厂典型日的热电负荷数据如图 7 所示。

通过遗传算法对该典型日的热电负荷进行分配,优化前后两台机组热电负荷和对应的供热流量如图 8、图 9 所示。按热电厂原热电负荷分配方式,

即电负荷和供热流量在两台机组间平均分配,计算得到优化前全厂标准煤耗量为 3 584.6 t/d,发电标准煤耗率为 285.76 g/(kW · h), 烟效率为 41.51%。

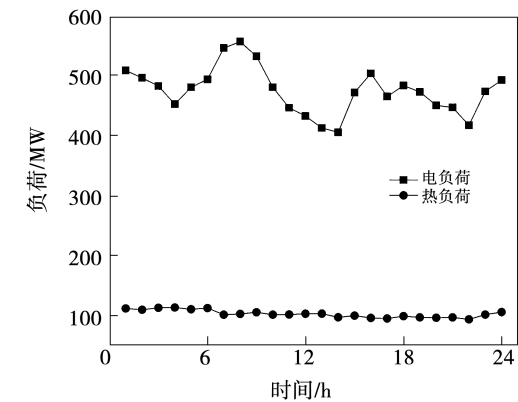


图 7 热电厂典型日热电负荷数据
Fig.7 Typical daily heat and electric load
data of thermal power plant

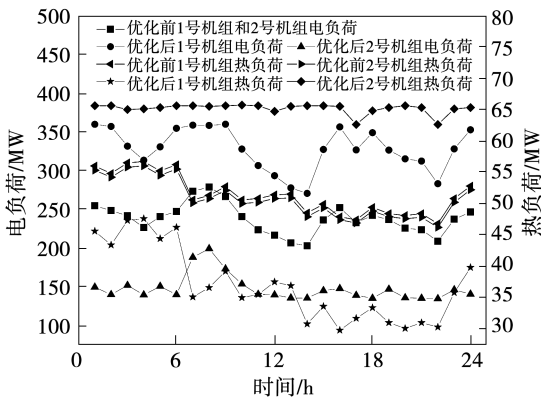


图 8 优化前后两台机组热电负荷对比
Fig.8 Comparison of heat and electric loads of
two units before and after optimization

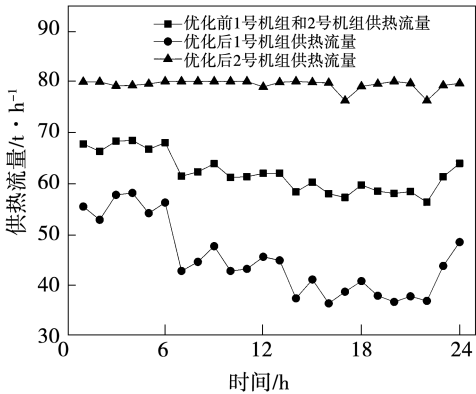


图 9 优化前后两台机组供热流量对比
Fig.9 Comparison of heating flow of two units
before and after optimization

图 10 为优化前后热电厂典型日内每小时的标准煤耗量对比。计算得到优化后全厂标准煤耗量为 3 549.6 t/d,发电标准煤耗率为 282.60 g/(kW·h),烟效率为 41.92%。与优化前相比,标准煤耗量减小 35 t/d,发电标准煤耗率降低 3.16 g/(kW·h),烟效率提高 0.41%。

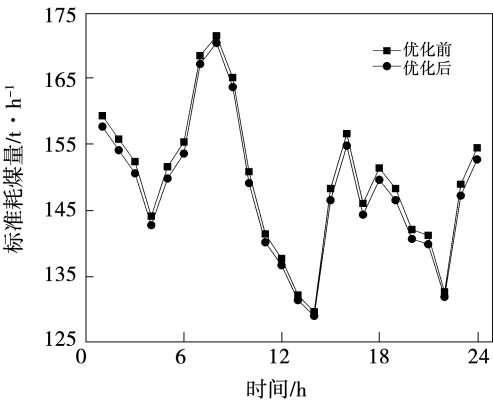


图 10 优化前后热电厂标准煤耗量对比

Fig. 10 Comparison of standard coal consumptions in thermal power plant before and after optimization

5 结 论

建立热电联产机组热力系统模型和能耗分析模型,针对工业供热机组提出一种新的热负荷计算方法,采用焓方法在热电联产机组安全运行区间内对机组进行能耗特性分析,利用遗传算法研究不同热电负荷分配方式对热电厂热经济性的影响,进一步对热电厂典型日热电负荷进行分配优化,得出结论:

- (1) 与以供热流量代表热负荷相比,根据抽汽点蒸汽焓值计算热负荷的方法能够反映出工业供热机组运行过程中蒸汽品质变化对供热量的影响,能更加精确地进行热电负荷分配,避免热量浪费。
- (2) 电负荷不变,烟效率随供热流量增大逐渐增大;供热流量不变,烟效率随电负荷增大而增大。热电联产机组供热流量达到最大值,且电负荷为该供热流量下最大值时机组烟效率达到最大值。
- (3) 对电负荷和热负荷优化分配的节能效果优于对单一因素优化。典型工况下,电负荷分配优化后减小标准煤耗量 1.65 t/h,发电标准煤耗率降低 3.43 g/(kW·h),烟效率提高 0.46%;热负荷分配

优化后标准煤耗量减小 0.01 t/h,发电标准煤耗率降低 0.03 g/(kW·h),烟效率提高 0.01%;对热电负荷分配优化后减小标准煤耗量 1.75 t/h,发电标准煤耗率降低 3.65 g/(kW·h),烟效率提高 0.49%。

(4) 通过遗传算法对热电厂典型日的热电负荷进行优化分配,与电负荷和供热流量平均分配方式相比标准煤耗量减小 35 t/d,发电标准煤耗率降低 3.16 g/(kW·h),烟效率提高 0.41%。

参考文献:

[1] 王金星. 大型燃煤热电联产系统研究现状和展望[J]. 华北电力大学学报(自然科学版), 2019, 46(6): 90-98.
WANG Jin-xing. Research status and prospect for large coal-fired combined heat and power generation system[J]. Journal of North China Electric Power University (Natural Science Edition), 2019, 46(6): 90-98.

[2] 郑体宽, 杨 晨. 热力发电厂[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
ZHENG Ti-kuan, YANG Chen. Thermal power stations[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2008.

[3] 陈媛媛, 周克毅, 李代智, 等. 等效焓降法在大型机组抽汽供热的热经济性分析中的应用[J]. 汽轮机技术, 2009, 51(6): 410-412.
CHEN Yuan-yuan, ZHOU Ke-yi, LI Dai-zhi, et al. Application of equivalent enthalpy drop theory for the analysis economical efficiency of steam extraction and heat supply for a large-sized power plant[J]. Turbine Technology, 2009, 51(6): 410-412.

[4] 张晓晖. 热电冷联产系统经济性诊断方法研究[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(11): 8-13.
ZHANG Xiao-hui. Research on economic diagnosis method of thermo-electric cooling cogeneration system[J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29(11): 8-13.

[5] 徐 曙, 曹 赛. 复杂热力循环等效焓降法的计算通式[J]. 汽轮机技术, 2017, 59(1): 17-20.
XU Shu, CAO Sai. General formula of the equivalent enthalpy drop method on complicated thermodynamic cycle[J]. Turbine Technology, 2017, 59(1): 17-20.

[6] 江 浩, 徐治皋. 循环函数法在供热机组经济性分析中的应用[J]. 热能动力工程, 2002, 17(4): 342-344.
JIANG Hao, XU Zhi-gao. Application of the cycle function method in the heat-economic analysis for the heat-supply turbine[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2002, 17(4): 342-344.