

# 抽汽供热机组增设背压机节能效果评价

程东涛,王生鹏,谢天,邹洋

(西安热工研究院有限公司,陕西西安710054)

**摘要:**为了对增设背压机的抽汽供热机组能耗指标进行评价和对机组改造的可行性进行评估,根据能量梯级利用原理,利用EBISLON软件建模,进行了增加背压机后供热机组的变工况计算,明确了该种供热模式下的供热负荷、发电负荷和供电负荷等边界条件变化关系和节能量。结果表明:某300 MW纯凝改供热机组增设一台10 MW背压发电机组后,机组供电煤耗降低5.671~7.725 g/(kW·h),增设背压机后节能效果明显。

**关键词:**抽汽供热;背压机;节能效果;梯级利用;供电煤耗

中图分类号:TK264.1 文献标识码:A DOI:10.16146/j.cnki.mdjgc.2021.07.002

[引用本文格式]程东涛,王生鹏,谢天,等.抽汽供热机组增设背压机节能效果评价[J].热能动力工程,2021,36(7):7-11. CHENG Dong-tao, WANG Sheng-peng, XIE Tian, et al. Energy-saving effect evaluation of adding back pressure turbine to steam extraction heat supply unit[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2021, 36(7): 7-11.

## Energy-saving Effect Evaluation of Adding Back Pressure Turbine to Steam Extraction Heat Supply Unit

CHENG Dong-tao, WANG Sheng-peng, XIE Tian, ZOU Yang

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

**Abstract:** In order to evaluate the feasibility of the unit transformation and the energy consumption index of the extraction heating unit with the addition of back pressure machine, the variable working conditions of the heating unit were calculated by using EBISLON software modeling according to the principle of energy cascade utilization. The boundary conditions of heating load, power generation load, power supply load and the energy saving of this mode are also defined. The calculation results show that the coal consumption of power supply decreases by 5.671 - 7.725 g/(kW·h) after the addition of a 10 MW back pressure turbine in a 300 MW pure condensing unit. The energy saving effect is obvious after the addition of a back pressure machine.

**Key words:** steam extraction heat supply, back pressure turbine, energy-saving effects, cascading use, standard coal consumption rate of power supply

## 引言

热电联产因其综合能源利用率高<sup>[1]</sup>的优点,在国内外均有着广泛应用<sup>[2-3]</sup>。热电联产以抽汽供热

机组为主力机型,由于设计参与实际运行参数之间存在偏差,经常出现抽汽供热参数较实际需求高的现象,为有效利用高品质蒸汽、实现能量梯级利用<sup>[4]</sup>,近年来部分抽汽供热机组进行了增设背压机<sup>[5-6]</sup>改造。从原理上分析将高品质抽汽在背压机

收稿日期:2020-08-27; 修订日期:2020-09-28

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2017YFB0902100)

Fund-supported Project: National Key R&D Program of China(2017YFB0902100)

作者简介:程东涛(1985-),男,河南许昌人,西安热工研究院有限公司高级工程师。

中做功后用于对外供热,实现了能量的梯级利用,有利于机组整体运行经济性。但增设背压机涉及机组供热负荷、发电负荷和供电负荷的变化,在节能效果评价方面一直缺少直观、明确的方法,在实际生产过程中还存在评价方法不合理、盲目评价的问题。

杨勇平等<sup>[7-8]</sup>进行了热网加热器全工况分析,提出了最佳冷源热网加热器选择方法,揭示了抽汽供热压力高、能量未能实现梯级利用带来的机组能耗相对偏高的问题。戈志华<sup>[9-10]</sup>较早地进行了大型纯凝汽轮机供热改造节能研究,从供热经济性和发电经济性的角度分析计算了增设背压机的节能效果。潘杭萍等人<sup>[11]</sup>对背压汽轮机运行性能进行了分析。文献<sup>[12]</sup>也主要是从运行经济效益的角度对增设背压机进行了相关分析计算。

已有的研究工作主要是围绕如何实现抽汽能量合理利用,以及结合背压机功率、运行时间等分析计算背压机运行的经济效益展开的,在具体节能效果方面往往是简化处理。本文结合生产实际,对抽汽供热机组增设背压机后的热力性能进行建模计算和评价分析,建立不同边界条件下的分析评价模型,围绕机组供电煤耗变化计算节能效果,理清评价思路,形成以能耗指标变化为核心的增设背压机节能效果评价方法。

## 1 增设背压机节能原理

抽汽供热机组是热电联产机组的主力机型。原纯凝机改供热的机组一般是在中低压缸连通管上打孔抽汽供热,通过中低压缸连通管供热蝶阀开度来调整供热参数;部分中小型机组在汽缸通流部分设有供热抽汽口和旋转隔板<sup>[13]</sup>,通过调整旋转隔板来调整供热参数。无论哪种抽汽供热型式,均是在汽轮机通流部分选择合适的位置对外抽汽供热。

从实际生产角度分析,热网循环水设计供水温度一般为 120 或 130 °C,对应所需抽汽供热压力约为 0.28 或 0.38 MPa。对于原供热机组来说,为满足供热需求机组的设计抽汽供热压力往往比需求值大,同时实际运行的热网循环水供水温度一般比设计值低,大部分华北地区的供水温度约 100 °C,设计裕量以及实际运行的偏差,造成高品质的供热蒸汽未能合理地利用其能量。

对于原纯凝机改供热的机组来说,中压缸排汽一般对应机组四段抽汽,其设计中压缸排汽压力较高,将中压缸排汽蒸汽直接用于加热热网循环水,会造成高品质蒸汽不能合理利用的问题。

为解决高品质供热蒸汽与热网需求低品质蒸汽匹配不合理的问题,将供热蒸汽先经过背压式汽轮机做功,降温降温后的小汽轮机排汽用于加热热网循环水。既将高品质供热蒸汽的部分能量先转化为电或功,再将其排汽能量(低品质蒸汽)用于供热,可以有效实现供热蒸汽能量的梯级利用。抽汽供热机组增设背压机示意图如图 1 所示。

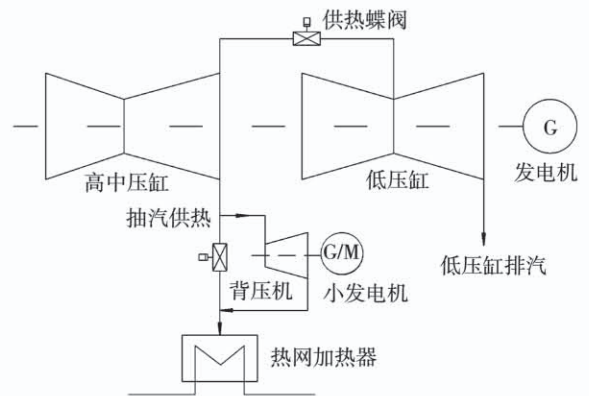


图 1 抽汽供热机组增设背压机示意图

Fig. 1 The schematic diagram of extraction heating unit with addition back pressure turbine

抽汽供热机组增设背压机有多种改造型式。从驱动型式上划分主要有背压机驱动热网循环水泵和背压机驱动小发电机,小发电机接至机组厂用电力系统。从排汽型式上划分主要有直接排至原热网加热器,同原加热器进汽并联运行和在原热网加热器前设置前级加热器。无论背压机是哪种布置型式,其基本技术原理是依据能量梯级利用原理,将高品质蒸汽通过背压机做功后再加热热网循环水。

## 2 运行模式分析

增设背压机涉及到机组供热负荷、发电负荷、供电负荷等边界参数以及机组热力系统运行状态的变化,不同的运行控制模式对应不同的边界条件,对节能效果、机组能耗指标变化的计算会带来相应的影响。

模式一:保持机组改造前后主蒸汽流量和抽汽

供热流量不变,则机组整体运行状态无明显变化,机组发电负荷不变,由于将原抽汽供热流量部分经背压机做功,则机组供热负荷降低;

模式二:保持机组改造前后主蒸汽流量和供热负荷不变,则需降低低压缸进汽流量、增大抽汽供热流量,机组发电负荷降低;

模式三:保持机组改造前后供热负荷和发电负荷不变,则需增大主蒸汽流量、增大抽汽供热流量;

模式四:保持机组改造前后供热负荷和供电负荷不变,供电负荷不变即改造前后机组发电负荷与背压机发电负荷之和不变,则需增大抽汽供热流量、降低主蒸汽流量。

按不同控制模式对应的边界条件,可以核算出不同控制模式下机组能耗指标变化量,即相应的节能效果。需要说明的是,以上是从理论分析的角度给出节能效果计算方法,在对机组进行实际建模分析时,增设背压机后涉及到增大主汽流量以及降低低压缸进汽流量时,需考虑是否在机组设计范围内。

### 3 能耗指标计算

在进行机组热力性能指标分析时,按照传统的好处归电的分析方法,将机组供热热耗、供热煤耗取定值,机组能耗指标变化主要体现在机组发电煤耗和供电煤耗变化方面。

发电热耗:

$$HR_{fd} = \frac{Q_{sr} - Q_{gr}}{P} \times 3600 \quad (1)$$

式中:  $HR_{fd}$ —发电热耗,  $\text{kJ}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ ;  $Q_{sr}$ —锅炉总热负荷,  $\text{MW}$ ;  $Q_{gr}$ —机组供热负荷,  $\text{MW}$ ;  $P$ —机组发电负荷,  $\text{MW}$ 。

发电煤耗:

$$b_{fd} = \frac{HR_{fd}}{\eta_b \times \eta_p \times 29.3076} \quad (2)$$

式中:  $b_{fd}$ —发电煤耗,  $\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ ;  $\eta_b$ —锅炉效率, %;  $\eta_p$ —管道效率, %。

供电煤耗:

$$b_{gd} = \frac{b_{fd}}{1 - \eta_d} \quad (3)$$

式中:  $b_{gd}$ —供电煤耗,  $\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ ;  $\eta_{bd}$ —厂用

电率, %。

理论上,通过对比增设背压机前后机组供电煤耗的变化可直接计算出机组能耗指标变化量,即增设背压机节能效果。增设背压机后,背压机发电一般直接供机组厂用电,将背压机发电负荷用机组厂用电、厂用电率下降来体现。

在实际分析计算过程中,基于汽轮机热力性能变工况<sup>[14-15]</sup>计算,按照传统计算方法,以弗留格尔公式<sup>[16]</sup>为基本原理,构建汽轮机热力性能变工况计算模型,可以对比分析出改造前后供电煤耗变化量。传统热力性能变工况计算的工作量大、专业性强,有着较高的应用难度,随着热力计算软件的开发与成熟应用,以 EBISLON<sup>[17-18]</sup>为代表的商用软件可相对简单地构建热力性能变工况计算模型,进而进行增设背压机节能效果计算。

## 4 案例分析

结合某抽汽供热机组实例分析,利用 EBISLON 建模软件进行机组热力性能变工况计算,进行抽汽供热机组增设背压机节能效果分析。

### 4.1 系统概况

某 300 MW 机组为纯凝机组,后经中低压缸连通管打孔抽汽进行供热改造,设计额定供热抽汽流量为 300  $\text{t}/\text{h}$ 、抽汽压力为 0.937 MPa、抽汽温度为 348  $^{\circ}\text{C}$ 。热网循环水设计供水温度为 120  $^{\circ}\text{C}$ ,考虑热网加热器端差以及供热抽汽管道压损后,所需抽汽供热压力低于 0.3 MPa。由于设计供热抽汽压力过高,为有效利用高品质抽汽,在进行供热改造的同时增设了一套额定功率为 10 MW 的背压机发电系统。背压机发电直供厂用电,部分供热抽汽经背压机做功后排入原热网加热器,背压机设计排汽压力为 0.3 MPa。

利用 EBISLON 软件,建立机组及抽汽供热系统的基本模型如图 2 所示。

建立 EBISLON 基本模型时以机组额定主汽流量工况为基准,实际进行改造项目可行性分析或改造后综合评价分析时,还应根据机组实际运行环境分析计算机组在其他主蒸汽流量工况下的节能效果。

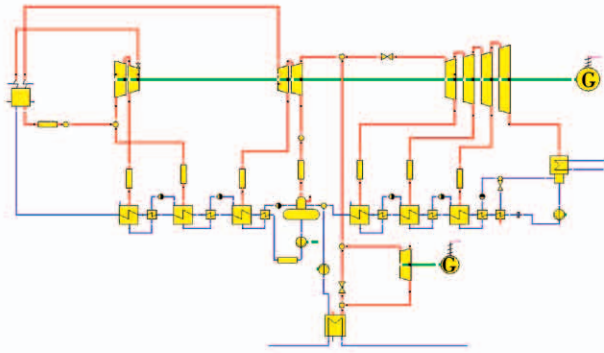


图2 机组及抽汽供热系统基本 EBISLON 模型

Fig.2 The basic EBISLON model of unit and extraction heating system

## 4.2 能耗指标分析

4种模式下增设背压机前后,机组供电煤耗指标变化情况及对应的供热负荷、发电负荷和供电负荷变化情况的具体能耗指标分析结果如表1所示。

表1 能耗指标分析结果

Tab.1 Analysis results of energy consumption index

参数	改造前	模式一	模式二	模式三	模式四
主蒸汽流量/ $t \cdot h^{-1}$	974.1	974.1	974.1	984.7	954.4
抽汽供热流量/ $t \cdot h^{-1}$	300	300	313	313	313
背压机进汽流量/ $t \cdot h^{-1}$	-	210	210	210	210
背压机发电功率/MW	-	10	10	10	10
供热负荷/MW	231	221	231	231	231
发电负荷/MW	249.0	249.0	245.5	249.0	239.0
供电负荷/MW	230.5	240.5	237.0	240.5	230.5
供电煤耗/ $g \cdot (kW \cdot h)^{-1}$	275.1	269.4	267.6	267.4	267.9
供电负荷较改造前增大/MW	-	10	6.5	10	0
供电煤耗较改造前下降/ $g \cdot (kW \cdot h)^{-1}$	-	5.671	7.537	7.725	7.187

由表1可知,增设背压机后不同模式下供电煤耗较改造前均有明显下降,其中模式一对应的供电煤耗下降值最小,另三种模式的供电煤耗下降值较接近。

由于模式一对应的是机组供热负荷降低的情况,其供电煤耗下降值相对偏小的主要原因为供热负荷降低。另三种模式下供热负荷均保持不变,由于主汽流量、发电负荷等边界条件的不同使得机组

冷源损失不同,则对应的供电煤耗值略有不同。

结合生产实际考虑,供热机组增设背压机后一般是要求供热负荷同改造前一致。按照电网一般调度机组发电量的原则,改造前后机组发电负荷应保持一致,模式三所定义边界条件较符合生产实际要求。但也有部分地区通过电网调度机组供电量,则改造前后供电负荷应保持一致,模式四所定义边界条件适用于此种电网调度方式。

以上从节能的角度进行了能耗指标变化分析,可根据机组实际运行环境选定对比分析边界条件,进而按对应模式计算出机组能耗指标变化量。在实际生产过程中,将增设背压机前后供电负荷变化、供电煤耗变化结合运行时间、上网电价和煤价,可较直接地计算出增设背压机的经济效益。

## 5 结论

(1) 提出的供电煤耗变化评价方法,结合 EBISLON 建模计算,可较直观地计算出增设背压机后的节能效果,为改造后的节能效果评价以及改造前的可行性分析提供了依据和支撑。

(2) 以某 300 MW 纯凝改供热机组增设一台 10 MW 背压发电机组为例,分析计算得出不同边界条件下机组供电煤耗降低 5.671 ~ 7.725  $g \cdot (kW \cdot h)^{-1}$ 。

## 参考文献:

- [1] 吕凯,王红宇,周佳,等. 热电联产机组电热煤特性研究[J]. 热力发电,2018,47(5):42-48.  
LYU Kai, WANG Hong-yu, ZHOU Jia, et al. Study on characteristics of power-heat-coal of cogeneration units[J]. Thermal Power Generation, 2018, 47(5): 42-48.
- [2] 赵冲,罗向龙,陈颖,等. 热电联产集中供热方案的分析对比[J]. 热能动力工程,2016,31(12):48-55.  
ZHAO Chong, LUO Xiang-long, CHEN Ying, et al. Analysis and comparison of cogeneration heating schemes[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2016, 31(12): 48-55.
- [3] 任洪波,吴琼. 分布式热电联产系统设计优化研究进展[J]. 热力发电,2017,46(1):11-16.  
REN Hong-bo, WU Qiong. Design optimization for distributed combined heat and power cogeneration systems; research progress[J]. Thermal Power Generation, 2017, 46(1): 11-16.
- [4] 冯知正. 能量梯级利用和分级加热在供热机组中的应用[J].

- 电力科技与环保,2019,35(6):55-56.
- FENG Zhi-zheng. Application of energy cascade utilization and graded heating in heating unit[J]. Electric Power Environmental Protection,2019,35(6):55-56.
- [5] 徐则林,姜燕妮,殷培光,等. 拖动与采暖多用途动力供暖系统的综合分析[J]. 动力工程学报,2014,34(11):903-908.
- XU Ze-lin,JIANG Yan-ni,YIN Pei-guang, et al. Comprehensive analysis of a multipurpose heating system with dragging and heating cogeneration[J]. Journal of Chinese Society of Power Engineering, 2014,34(11):903-908.
- [6] 余炎,金益波,杨红霞,等. 超临界350 MW机组采用背压式给水泵小汽轮机工业供热研究[J]. 动力工程学报,2018,38(10):849-854.
- YU Yan,JIN Yi-bo,YANG Hong-xia, et al. Study on taking backpressure BFPT exhaust of 350 MW supercritical unit as industrial heat source[J]. Journal of Chinese Society of Power Engineering, 2018,38(10):849-854.
- [7] 林振娴,杨勇平,何坚忍. 热网加热器在热电联产系统中的全工况分析[J]. 中国电机工程学报,2010,30(23):14-18.
- LIN Zhen-xian,YANG Yong-ping, HE Jian-ren. Analysis on the full conditions of thermal-system heater in the combined and heat power system [J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(23):14-18.
- [8] 杨勇平,林振娴,何坚忍. 热电联产系统中最佳冷源热网加热器的选择方法[J]. 中国电机工程学报,2010,30(26):1-6.
- YANG Yong-ping,LIN Zhen-xian, HE Jian-ren. Chosen method of optimum cold source thermal-system heater in heat and power cogeneration system[J]. Proceedings of the CSEE,2010,30(26):1-6.
- [9] 戈志华,杨佳霖,何坚忍,等. 大型纯凝汽轮机供热改造节能研究[J]. 中国电机工程学报,2012,32(17):25-30.
- GE Zhi-hua,YANG Jia-lin,HE Jian-ren, et al. Energy saving research of heating retrofitting for large scale condensing turbine[J]. Proceedings of the CSEE,2012,32(17):25-30.
- [10] 戈志华,陈玉勇,李沛峰,等. 基于当量抽汽压力的大型热电联产供热模式研究[J]. 动力工程学报,2014,34(7):569-575.
- GE Zhi-hua,CHEN Yu-yong,LI Pei-feng, et al. Study on heating mode of a large heat and power cogeneration unit based on equivalent extraction pressure[J]. Journal of Chinese Society of Power Engineering,2014,34(7):569-575.
- [11] 潘杭萍,杨建明,王昌朔,等. 抽汽供热底置式背压汽轮机的运行分析[J]. 汽轮机技术,2019,61(5):361-364.
- PAN Hang-ping,YANG Jian-ming,WANG Chang-shuo, et al. Operation analysis of bottom backpressure steam turbine in extraction heating[J]. Turbine Technology,2019,61(5):361-364.
- [12] 刘俊峰,高玉峰. 热网循环泵不同驱动方式的能量价值分析研究[J]. 汽轮机技术,2015,57(5):385-387.
- LIU Jun feng,GAO Yu-feng. Energy value analysis of different driving modes for circulating heat supply pump [J]. Turbine Technology,2015,57(5):385-387.
- [13] 何干祥,林琳,王勇. 汽轮机旋转隔板变工况供热经济性分析[J]. 热力发电,2018,47(7):120-124.
- HE Gan-xiang,LIN Lin,WANG Yong. Economic analysis of heating unit with rotating board for steam turbine under off-design conditions [J]. Thermal Power Generation, 2018, 47(7):120-124.
- [14] 李沛峰,戈志华,银正一,等. 供热系统能耗评价模型及应用[J]. 中国电机工程学报,2013,33(23):19-28.
- LI Pei-feng,GE Zhi-hua,YIN Zheng-yi, et al. Model for energy consumption of heating system and its application[J]. Proceedings of the CSEE,2013,33(23):19-28.
- [15] 吴龙,袁奇,丁俊齐,等. 基于变工况分析的供热机组负荷特性研究[J]. 热能动力工程,2012,27(4):424-428.
- WU Long,YUAN Qi,DING Jun-qi, et al. Study of the load characteristics of a heat-supply unit based on an analysis of its off-design operating conditions [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power,2012,27(4):424-428.
- [16] 徐大懋,邓德兵,王世勇,等. 汽轮机的特征通流面积及弗留格尔公式改进[J]. 动力工程学报,2010,30(7):473-477.
- XU Da-mao,DENG De-bing,WANG Shi-yong, et al. Application of characteristic flow area of steam turbines and improvement on Flürl formula[J]. Journal of Chinese Society of Power Engineering,2010,30(7):473-477.
- [17] 刘学亮,陈胜利,万超,等. 间接空冷汽轮机变工况特性研究[J]. 中国电力,2018,51(4):108-114.
- LIU Xue-liang,CHEN Sheng-li,WAN Chao, et al. Study on off-design performance of indirect air-cooling steam turbine unit[J]. Electric Power,2018,51(4):108-114.
- [18] 付亦藏,马汀山,刘永林. 基于EBSILON的蒸汽冷却器节能效果评估[J]. 热力发电,2017,46(3):14-18.
- FU Yi-wei,MA Ting-shan,LIU Yong-lin. An EBSILON-based evaluation method for energy saving of steam cooler[J]. Thermal Power Generation,2017,46(3):14-18.

(姜雪梅 编辑)