

## 燃煤机组的供热改造项目实例分析

刘宇

引用本文:

刘宇. 燃煤机组的供热改造项目实例分析[J]. 南方能源建设, 2021, 8(S1): 97-101.

LIU Yu. Case Analysis of Heating Reconstruction Project of Coal Fired Unit[J]. *Southern Energy Construction*, 2021, 8(S1): 97-101.

---

相似文章推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

**Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)**

[基于珠海发电厂的燃煤机组性能优化策略](#)

Performance Optimization Strategy of Coal-fired Units Based on Zhuhai Power Station

南方能源建设. 2020, 7(z1): 78-81 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.S1.015>

[700MW机组旁路控制系统冗余控制研究与应用](#)

Research and Application of By-pass Control System for 700 MW Unit

南方能源建设. 2019, 6(4): 54-58 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.04.008>

[某350MW供热机组单双列风机配置分析](#)

Analysis on Single or Double Row Fan Configuration for a 350 MW Heat Supply Unit

南方能源建设. 2019, 6(4): 59-63 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.04.009>

[热电联产机组的电力调峰运行模式研究](#)

Research of Cogeneration Units Acting on Electric Peak-shaving Operating Mode

南方能源建设. 2015(3): 51-56 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.03.010>

[采用再热温度630℃的1000 MW新一代超超临界二次再热机组可行性研究](#)

Feasibility Study on 1000 MW New Generation Ultra-supercritical Unit with Double Re-heating Cycles at 630 °C

南方能源建设. 2018, 5(3): 33-41 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.03.005>

# 燃煤机组的供热改造项目实例分析

刘宇<sup>✉</sup>

(广东省能源集团有限公司珠海发电厂, 珠海 519000)

**摘要:** [目的] 为了提高燃煤机组的运行效率和经济效益, 以珠海发电厂的供热改造项目为对象进行实例分析, 探索煤电机组经营困境的破局之路。[方法] 通过剖析珠海发电厂供热改造项目, 从可行性、控制策略、改造效果等几个方面综合探讨。[结果] 分析结果表明, 供热改造后机组煤耗明显降低, 同时供热量的增加提高热电比, 可争取更多的计划电量, 增加发电基数。[结论] 供热改造对于条件合适的燃煤机组是一个值得参考的优化途径, 具有重要的指导意义和经济价值。

**关键词:** 经济效益; 供热改造; 煤耗; 电量; 优化途径

**中图分类号:** TM611; TM621

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2095-8676(2021)S1-0097-05

**开放科学(资源服务)二维码:**



## Case Analysis of Heating Reconstruction Project of Coal Fired Unit

LIU Yu<sup>✉</sup>

(Zhuhai Power Station of Guangdong Energy Group Co., Ltd., Zhuhai 519000, China)

**Abstract:** [Introduction] In order to improve the operation efficiency and the economic benefits of coal-fired units, this paper takes the heating reconstruction project of Zhuhai Power Plant as an example to explore the way which can break the operating predicament of coal-fired power unit. [Method] By analyzing the heating reconstruction project of Zhuhai Power Plant, this paper conducted a comprehensive discussion on the feasibility, control strategy and construction effect of this project. [Result] The analysis results showed that the coal consumption of the unit was significantly reduced after the heating reconstruction, and the increase of heat supply increased the heat power ratio, which can also strive for more planned electricity and the power generation base value. [Conclusion] Heating reconstruction is a valuable optimization way for coal-fired unit with suitable conditions, which has very important guiding significance and economic value.

**Key words:** economic benefit; heating reconstruction; coal consumption; electricity; optimization way

2095-8676 © 2021 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

随着近年来新型发电机组的快速发展, 国家对环保标准逐渐提高, 同时煤炭价格<sup>[1]</sup>不断上涨, 传统火力发电厂在激烈的电力市场竞争中处于明显的劣势地位。为了打破当前的窘迫境地, 燃煤机组都在寻求本身性能优化或外部增加设备的升级途径<sup>[2]</sup>, 本文通过对珠海发电厂的供热改造项目进行实际案例分析, 根据数据说明改造后机组参数变化以及经济效益, 深层次讨论供热改造项目对燃煤机组优化升级的策略意义。

## 1 项目背景

### 1.1 地理环境

广东省能源集团有限公司珠海发电厂位于珠海市高栏港经济区, 高栏港经济区承担着全国沿海主枢纽港、国家一类对外开放口岸、石化产业基地、广东省重点石化园区, 以及能源、精细化工、钢铁、装备制造基地等区域性职能, 规划分为五大产业区, 其中有三大产业区目前开发程度较低以及未来用热较少, 因此供热范围仅包括南水石化区和南水精细化工区。据初步了解, 供热范围内用热企业将会通过增加生产时段或扩大生产规模的规划提前

实现各自发展目标, 其用热负荷也会相应的增长。

根据《珠海市工业园区和产业集聚区集中供热方案》(2015—2020年)<sup>[3]</sup>, 汇总高栏片区热网用户、锅炉用户以及在建用户的用热预测分析, 高栏片区近期2017年最大用热负荷达2 017.51 t/h (含自备锅炉), 中期2020年最大热负荷达2 412.76 t/h。珠海发电厂供热增量相关改造项目可补充高栏港经济区内企业对用热负荷的需求。

## 1.2 机组现状

珠海发电厂两台700 MW容量的汽轮机为三菱公司生产的亚临界、一次中间再热、单轴、四缸、四排气、凝汽式汽轮机, 型号TC4F-40, 设计主蒸汽压力为17.5 MPa, 温度为538 ℃, 再热蒸汽温度为566 ℃, 低压缸排汽压力为5.47 kPa, 汽轮机热耗率为7 658 MJ/(kW·h)。汽轮机采用高、中压合缸, 由一个高、中压缸和两个双流低压组成。

锅炉为日本三菱重工设计制造的MB-FRR型、亚临界参数、一次中间再热、强制循环、单炉膛、悬吊式燃煤锅炉, 设计燃用神府东胜煤和进口煤, 燃烧器四角布置, 制粉系统为正压直吹式, 配6台三菱式MVM25R型中速磨煤机。

## 2 项目方案

根据西安热工院的可行性研究报告、三菱公司对汽轮机抽汽能力核算报告以及电厂对热力公司和用户负荷调研结果综合分析, 最终敲定方案为冷再抽吸<sup>[4]</sup>, 中排压力匹配器方案, 如图1所示。

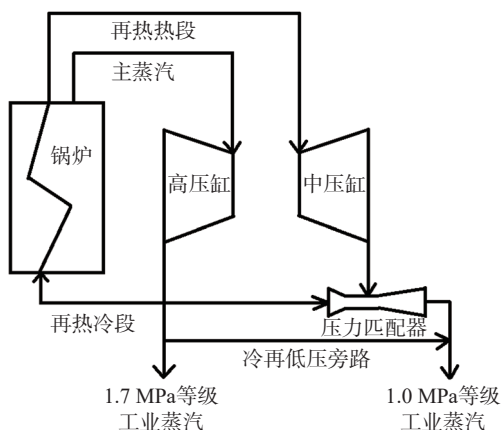


图1 供热改造方案示意图

Fig. 1 Heating reconstruction scheme diagram

## 2.1 热力系统

设计总的原则是保障高效的能量梯级利用<sup>[5]</sup>, 在满足汽轮机和锅炉等设备安全的条件下, 尽可能地抽吸低品位能量的蒸汽供应, 供热蒸汽的优先等级按中排>冷再排序。

在考虑机组出力和蒸汽管道的压损后经过计算, 每台机组分别配置1.7 MPa蒸汽联箱和1.0 MPa蒸汽联箱各一台 (厂内及厂区总压损按小于0.1 MPa)。1.7 MPa蒸汽联箱汽源是冷再蒸汽, 1.0 MPa蒸汽联箱的汽源主要是冷再蒸汽采用压力匹配器<sup>[6]</sup>引射中排蒸汽的混合蒸汽, 冷再也可直接减温减压供1.0 MPa蒸汽联箱。另外, 高负荷时中排蒸汽无需冷再蒸汽引射, 通过另一支路管直供1.0 MPa蒸汽, 与压力匹配器出口管道共用同一套减温器。

## 2.2 设计热负荷

方案确定设计热负荷为:

低压参数: 0.9 MPa±0.1 MPa, 250 ℃±10 ℃, 最大流量为150 t/h。

中压参数: 1.60 MPa±0.1 MPa, 270 ℃±10 ℃, 最大流量为100 t/h。

机组供热改造后, 年供热小时数为全年8760小时, 能够满足不间断供热的要求, 在珠海电厂单机电负荷310 MW以上时, 应满足上述中压的蒸汽需求150 t/h; 单机电负荷410 MW以上时, 能同时满足中压参数蒸汽需求150 t/h和低压参数蒸汽100 t/h, 共250 t/h。同时供热系统应保证调节灵敏, 适应能力强, 出口蒸汽参数稳定, 出口蒸汽压力稳态时误差范围±0.04 MPa, 温度误差范围±5 ℃。

## 2.3 机械改造部分

本项目完成后供汽量较小, 锅炉本体、汽轮机本体无需进行改造, 只需从汽轮机冷再抽汽管道和低压抽汽管道开孔连接抽汽管道, 接至汽机房零米层配置的中压蒸汽联箱及低压蒸汽联箱。水系统方面根据改造前的制水现状及改造后的用水预估, 需增加一套砂滤装置, 增设一台过滤水泵, 以满足除盐制水需求。剩余为土建改造工程, 按照供热管道的走向架设固定支架, 根据布置需求增加梁、支撑, 以及对原有结构梁柱支撑不满足承载力要求的, 采用钢贴板增大截面进行加固。

## 2.4 控制改造部分

项目完成后要求实现运行人员能在集控室内通

过DCS操作站对供热系统的所有被控对象进行监控, 实现就地无人值班。因此所有被控对象的信号都需接入DCS, 并根据控制策略、控制方式、联锁逻辑添加相应的控制画面, 设置必要的联锁保护。

供热系统主要的保护联锁有:

1) 冷再供热切除保护条件

- (1) 汽机跳闸
- (2) 发电机跳闸
- (3) MFT
- (4) OPC动作
- (5) 负荷低于310 MW
- (6) FCB动作
- (7) FV动作

2) 冷再供热切除保护联锁动作

中压抽汽管路所有关断阀、逆止门全关。

3) 中排低压供热切除保护条件

- (1) 汽机跳闸
- (2) 发电机跳闸
- (3) MFT
- (4) OPC动作
- (5) 负荷低于310 MW
- (6) FCB动作
- (7) FV动作

4) 中排低压供热切除保护联锁动作

低压抽汽管路所有关断阀、逆止门全关。

除了主要的保护切除联锁保障机组安全运行以外, 管道上各控制阀门前后都设有压力和温度点作为监控参考, 一旦超过设定值也会响应动作, 调节压力和温度或中断供热蒸汽输送。

### 3 压力匹配器

针对珠海发电厂机组特性, 以及机组参与调频、调峰的工况<sup>[7]</sup>, 机组负荷全年有较长时间可能处于低负荷工况, 因此压力匹配器的使用时间比例比较高, 作用非常重要。

#### 3.1 工作原理

压力匹配器也称射流泵, 压力匹配器的主要结构和尺寸如图2所示。根据工况条件和流量要求, 采用水力设计方法结合数值模拟进行设计。

压力匹配器能够有效可靠地利用高压蒸汽(本项目中为冷再蒸汽), 通过喷嘴产生高速气流, 在

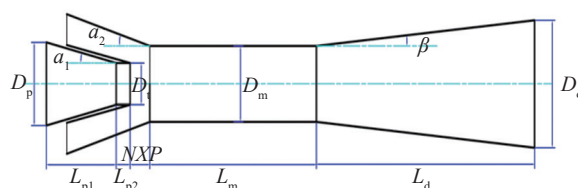


图2 压力匹配器结构尺寸示意图

Fig. 2 Compression adapter structure size diagram

喉部形成低压, 将低压蒸汽吸入(本项目中为中压缸排汽), 再经混合扩压使其压力和温度提高, 达到将低压蒸汽升压的目的。当高压蒸汽和吸入蒸汽参数变化时, 压力匹配器自动调节, 使混合后的蒸汽参数满足用汽需求。

#### 3.2 变工况特性

根据压力匹配器原理<sup>[8]</sup>以及SH/T 3188—2018《石油化工蒸汽喷射式抽空器技术规范》<sup>[9]</sup>, 对方案需要的压力匹配器引射能力进行计算, 分析得出其变工况特性如下:

1) 压力匹配器引射系数随着高压进汽压力的增大而增大, 也即随着高压进汽压力的降低引射系数降低, 影响较大。

2) 压力匹配器引射系数随着高压进汽温度的降低而降低, 影响较小。

3) 压力匹配器引射系数随着低压进汽压力的升高而增大, 即越接近混合后的压力, 匹配器引射系数越大, 且随低压进汽压力的变化引射系数变化剧烈。

4) 负荷越低, 高压进汽压力越接近设定混合后压力, 低压进汽压力远离设定混合后压力, 使得抽吸能力急剧下降。

5) 调研知, 压力匹配器可通过设置多个喷嘴实现对流量变化的适应, 典型的一种压力匹配器就是三喷嘴压力匹配器, 该类压力匹配器可根据外界蒸汽量的需求量, 投运压力匹配器的喷嘴数量, 从而实现对流量的变工况适应, 保证压力匹配器的可靠运行。

综合机组性能以及压力匹配器工况特性, 压力匹配器需保证在机组40%THA负荷工况以上时, 均能自动调节抽吸低压蒸汽, 保障引射比(吸入蒸汽量/驱动蒸汽量)不低于表1中的要求。

#### 3.3 运行方式

综合上述特性以及实际工况, 确定压力匹配器



表1 压力匹配器引射比要求

Tab. 1 Ejection ratio requirement of compression adapter

保证值项目	保证值
工况1:电负荷310 MW时,压力匹配器引射比最低值。	≥0.28
工况2:电负荷360 MW时,压力匹配器引射比最低值。	≥0.41
工况3:电负荷410 MW时,压力匹配器引射比最低值。	≥0.75
工况4:电负荷500 MW时,压力匹配器引射比最低值。	≥1.86
工况5:电负荷560 MW时,压力匹配器引射比最低值。	≥2.68

运行方式为:

机组负荷低于310 MW时,供热系统退出,压力匹配器不工作。

当机组负荷为310 MW~600 MW之间时,采用冷再供中压蒸汽;冷再中压蒸汽通过压力匹配器引射中排低压蒸汽。当压力匹配器故障,或者中排供热故障时,切换到冷再低压旁路供热。

当机组负荷大于600 MW时,采用冷再供中压蒸汽,中排直供低压蒸汽(压力匹配器不投入使用),当中排直供低压蒸汽的量不满足时(分气缸压力低于1.0 MPa),投入冷再低压旁路供热补充。当机组负荷下降至小于560 MW时,压力匹配器投入,采用冷再驱动中排进行低压供热。

## 4 改造效果

### 4.1 机组状况

机组冷再抽汽量对主要运行参数影响见表2。

表2 不同抽汽流量的机组主参数

Tab. 2 Main parameters of unit with different extraction flow

抽汽量 参数	出力 /MW	热耗 /(kJ·kWh <sup>-1</sup> )	主汽压力 /MPa	主汽温 /°C	主汽流量 /(t·h <sup>-1</sup> )
0/(t·h <sup>-1</sup> )	700.7	7 994.5	17.50	538.0	2 200
50/(t·h <sup>-1</sup> )	686.7	7 938.0	17.50	538.0	2 200
100/(t·h <sup>-1</sup> )	672.8	7 878.5	17.50	538.0	2 200
120/(t·h <sup>-1</sup> )	658.9	7 815.5	17.50	538.0	2 200

由表2可知,主蒸汽量保持不变,冷再抽汽每抽100 t/h蒸汽,按照热电联产机组热耗率<sup>[10]</sup>计算方法核算,机组热耗率降低115 kJ/kWh,折算发电煤耗下降4.3 g/kWh,厂用电率取近三年平均值5.86%,锅炉效率取93%,对应的机组供电煤耗下降至约307.7 g/kWh,相较纯凝工况供电煤耗320.0 g/kWh,供电煤耗下降12.3 g/kWh。

### 4.2 直接效益

珠海发电厂供热改造项目1号机组部分于2020年5月投产,2号机组于2021年1月投产,目前仅供中压参数蒸汽,至今总供热质量累积流量达202 905 t,总热量累积流量达595 523 GJ,与供热管网单位“珠海新源热力有限公司”签订的蒸汽供热合同结算已产生直接经济效益约3 000万元人民币。

### 4.3 潜在效益

高栏港经济区现有的用热企业目前仍保留分散供热锅炉,其供热全部为内部使用,没有对外供热,不仅经济性差,存在烟尘和SO<sub>2</sub>污染等问题,而且还普遍存在规章制度不健全、政府管理难度大等问题,给企业的生产留下安全隐患。热电联产不仅能解决上述问题,还能提高供热机组的热效率,积极响应了国家节能减排的号召。这样的大趋势下,这些小锅炉将逐渐被取缔,改由供热管网集中供热<sup>[11]</sup>。并且随着高栏港经济区的快速发展,近期引进的中石化南光丁苯橡胶项目、中海油大型精细化工基地等项目建成投产后,高栏港经济区的供热需求量也将会大幅提升。

珠海发电厂供热改造项目落成不久,所签订合同的客户较少,但根据上文提到在高栏港经济区未来供热需求的趋势,未来有很大的市场潜力。再者,按目前煤炭价格和天然气价格<sup>[12]</sup>,天然气的等热值价格是煤炭的三倍,因此以烧煤来供热的珠海发电厂比以天然气供热的发电公司有成本优势,对用热企业和管网单位更有吸引力。

从发电角度,根据国家政策实现热电联产的机组有更多计划电量,并且供热管网中含有大量管道和换热设备,具有一定的储能量,调节供热快关阀开度能够利用热网储能快速改变机组发电负荷,提升供热机组一次调频<sup>[13]</sup>的响应能力,也能提升机组在辅助调频市场<sup>[14]</sup>的竞争力,获得更多利润。

## 5 结论

“十三五”节能减排综合工作方案中,煤电节能减排升级与改造行动计划要求积极发展热电联产,坚定“以热定电”,建设高效燃煤热电机组,同步完善配套供热管网,对集中供热范围内的分散燃煤小锅炉实施替代和限期淘汰。珠海发电厂的供热改造项目是对国家政策的积极响应,不仅提高机

组本身的热效率,能够争取更多发电基数<sup>[15]</sup>,也对整个高栏港经济区的节能减排作出巨大贡献,同时在激烈的售电现货市场中提高了机组自身的竞争力,为燃煤机组解决当前性能低、效益差、难中标等问题提供了有效的解决方案,具有实际的指导意义。

#### 参考文献:

- [1] 张言方,赵北辰. 后疫情时期我国煤价不确定性变化及其应对策略[J]. 煤炭经济研究,2020,40(6):19-26.  
ZHANG Y F, ZHAO B C. Uncertainty changes of China's coal prices during the post epidemic period and its countermeasures [J]. Coal Economic Research, 2020, 40(6): 19-26.
- [2] 刘宇. 基于珠海发电厂的燃煤机组性能优化策略[J]. 南方能源建设,2020,7(增刊1):78-81.  
LIU Y. Performance optimization strategy of coal-fired units based on Zhuhai power station [J]. Southern Energy Construction, 2020, 7(Supp. 1): 78-81.
- [3] 珠海市工业园区和产业聚集区集中供热方案(2015—2020) [R]. 广州:生态环境部华南环境科学研究所,2016.  
Central heating scheme for Zhuhai industrial parks and industrial clusters (2015—2020) [R]. Guangzhou: South China Institute of Environmental Sciences, Ministry of Ecological Environment, 2016.
- [4] 张军辉,杜献伟,张文涛. 300 MW 纯凝机组供热改造经济性分析[J]. 发电技术,2019,40(1):71-73.  
ZHANG J H, DU X W, ZHANG W T. Economic analysis of heating reform of 300 MW condensing power plant [J]. Power Generation Technology, 2019, 40(1): 71-73.
- [5] 张义志,王小君,和敬涵,等. 考虑供热系统建模的综合能源系统最优能流计算方法[J]. 电工技术学报,2019,34(3):562-570.  
ZHANG Y Z, WANG X J, HE J H, et al. Optimal energy flow calculation method of integrated energy system considering thermal system modeling [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2019, 34(3): 562-570.
- [6] 宋红伟. 300 MW 供热机组的控制及经验探索[J]. 现代经济信息,2020(23):158-160.  
SONG H W. Control and experience exploration of 300 MW heating unit [J]. Modern Economic Information, 2020 (23): 158-160.
- [7] 王玮,孙阳,刘吉臻,等. 适应电网快速调频的热电联产机组新型变负荷控制策略[J]. 电力系统自动化,2018,42(21):63-69.  
WANG W, SUN Y, LIU J Z, et al. Load-change control strategy for combined heat and power units adapted to rapid frequency regulation of power grid [J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(21): 63-69.
- [8] 吴颖东,刘中秋,谭文才,等. 可调式射流泵内部流动与结构参数优化研究[J]. 冶金能源,2020,39(3):24-28.  
WU Y D, LIU Z Q, TAN W C, et al. Study on optimization of internal flow and structural parameters of adjustable jet pump [J]. Energy for Metallurgical Industry, 2020, 39(3): 24-28.
- [9] 中国石化集团北京设计院. 石油化工蒸汽喷射式抽空器设计规范:SH/T 3118—2018 [S]. 北京:中国石化集团北京设计院,2019.  
Sinopec Engineering Incorporation. Technical specification for ejectors in petrochemical engineering: SH/T 3118—2018 [S]. Beijing: Sinopec Engineering Incorporation, 2019.
- [10] 李建峰,高圣溥,李燕,等. 热电厂供热蒸汽管道内效率分析[J]. 中国电力,2018,51(9):53-58.  
LI J F, GAO S F, LI Y, et al. Energy efficiency analysis of heating steam pipeline for cogeneration power plant [J]. Electric Power, 2018, 51(9): 53-58.
- [11] 印佳敏,王路,夏文波,等. 基于热电互动的分布式能源系统优化研究[J]. 南方能源建设,2019,6(3):59-63.  
YIN J M, WANG L, XIA W B, et al. Research on optimization of distributed energy system based on thermo-electric interaction [J]. Southern Energy Construction, 2019, 6(3): 59-63.
- [12] 王世朋,刘润宝,谢玉荣. 广东典型工业园区燃气分布式能源供能经济可行性分析研究[J]. 节能,2020,39(5):79-81.  
WANG S P, LIU R B, XIE Y R. Economic analysis of gas distributed energy stations in typical industrial park of Guangdong Province [J]. Energy Conservation, 2020, 39(5): 79-81.
- [13] 王智,李志彬. 提高供热机组一次调频响应能力的研究[J]. 汽轮机技术,2020,62(5):367-370+345.  
WANG Z, LI Z B. Research on improving the response ability of primary frequency modulation of heating units [J]. Turbine Technology, 2020, 62(5): 367-370+345.
- [14] 李舒佳,谢敏,李建钊,等. 电能量——调频市场联合优化模式研究[J]. 南方能源建设,2020,7(3):55-61.  
LI S J, XIE M, LI J Z, et al. Study on the joint optimization mode of electric energy and regulation market [J]. Southern Energy Construction, 2020, 7(3): 55-61.
- [15] 国家能源局南方监管局. 广东现货电能量市场交易细则[S]. 广州:国家能源局南方监管局,2018.  
South China Energy Regulatory Office of National Energy. Detailed rules for the implementation of Guangdong spot electric energy market transaction [S]. Guangzhou: South China Energy Regulatory Office of National Energy, 2018.

#### 作者简介:



刘宇

刘宇 (通信作者)

1992-, 男, 广东韶关人, 热动力工程工程师, 谢菲尔德大学理学硕士, 主要从事汽轮发电机热工控制技术研究 (e-mail) 451612557@qq.com。

(责任编辑 李辉)