

# CC12 MW 供热汽轮发电机组热力系统简化设计及应用

金保华<sup>1</sup>, 曹羽<sup>1</sup>, 秦岩<sup>2</sup>, 许高峰<sup>3</sup>

(1. 辽宁电力勘测设计院发电处, 辽宁 沈阳 110005; 2. 哈尔滨第七〇三研究所, 黑龙江 哈尔滨 150036; 3. 秦皇岛同和热电有限公司, 河北 秦皇岛 066000)

**摘要:**介绍 CC12 MW 供热汽轮发电机组热力系统简化设计思想及技术特点, 并叙述简化后热力系统的经济效益和运行状况, 分析热力系统目前还存在的问题及解决措施。

**关键词:**热力系统; 简化; 热负荷; 旋膜式除氧器

中图分类号: TM621.4 文献标识码: B

## 1 概述

传统的 12 MW 汽轮发电机组的回热系统工艺流程是: 凝结水→凝结水泵→低压加热器→低压除氧器(0.112 MPa)→电动给水泵→高压加热器→锅炉。由于高压加热器采用 U 型管结构的面式加热器, 它在工作状态时汽—水两侧温差较大, 导致 U 型管束与管板连接处经常松动而漏水, 迫使机组在低效率工况下运行。另外, 大部分小热电项目的热负荷为采暖负荷, 又采用高温(120 °C)供热, 布置在厂区内的热网换热站的凝结水直接补入低压除氧器, 凝结水温高达 133 °C 使低压除氧器经常产生自沸腾现象。我们根据 CC12 MW 热力系统回热级数少和锅炉给水温度低的特点, 对热力系统进行简化。简化后的 CC12 MW 汽轮发电机组的回热系统工艺流程是: 凝结水→凝结水泵→低压加热器→高压除氧器(0.49 MPa)→电动给水泵→锅炉。该系统可以避免高压加热器事故和威胁低压除氧器安全运行的自沸腾现象。

简化后的热力系统在理论上确定后, 1995 年我们首先对新建秦皇岛同和热电有限公司应用了新的热力系统。根据需要, 热负荷确定为——工业用汽量 41.8 t/h; ——采暖热负荷 84.24 t/h。设计煤种为柳江煤, 低位发热量为 15 120 kJ/kg。

## 2 简化的热力系统

热负荷是我们确定热力系统的基本条件, 由于采暖热负荷比工业热负荷大两倍, 全厂炉、机配置, 按 3 台 75 t/h 循环流化床锅炉配两台 CC12 MW 汽轮机组设置。主蒸汽系统、主给水系统、除氧加热系统均采用母管制。

(1) 炉型: NG-75/5.3-M3

额定蒸发量: 75 t/h;

额定蒸汽压力: 5.3 MPa;

额定蒸汽温度: 450 °C;

锅炉给水温度: 150 °C;

锅炉效率: 86%。

(2) 汽轮机型式: CC12-4.9/0.981/0.294 型

额定功率: 12 MW;

设计最大功率: 15 MW;

进汽压力: 4.9 MPa;

进汽温度: 150 °C;

额定进汽量: 89 t/h;

最大进汽量: 122 t/h;

一级可调抽汽压力: 0.981 MPa;

一级可调抽汽温度: 287 °C;

一级可调抽汽额定抽汽量: 20 t/h;

一级可调抽汽最大抽汽量: 60 t/h;

二级可调抽汽压力: 0.294 MPa;

二级可调抽汽温度: 189 °C;

二级可调抽汽额定抽汽量: 40 t/h;

一级可调抽汽最大抽汽量: 100 t/h;

转速: 3 000 r/min。

(3) 发电机型号: QFW-15-2 型

收稿日期: 2002-05-24; 修订日期: 2003-07-08

作者简介: 金保华(1950-), 男, 辽宁沈阳人, 辽宁电力勘测设计院高级工程师。

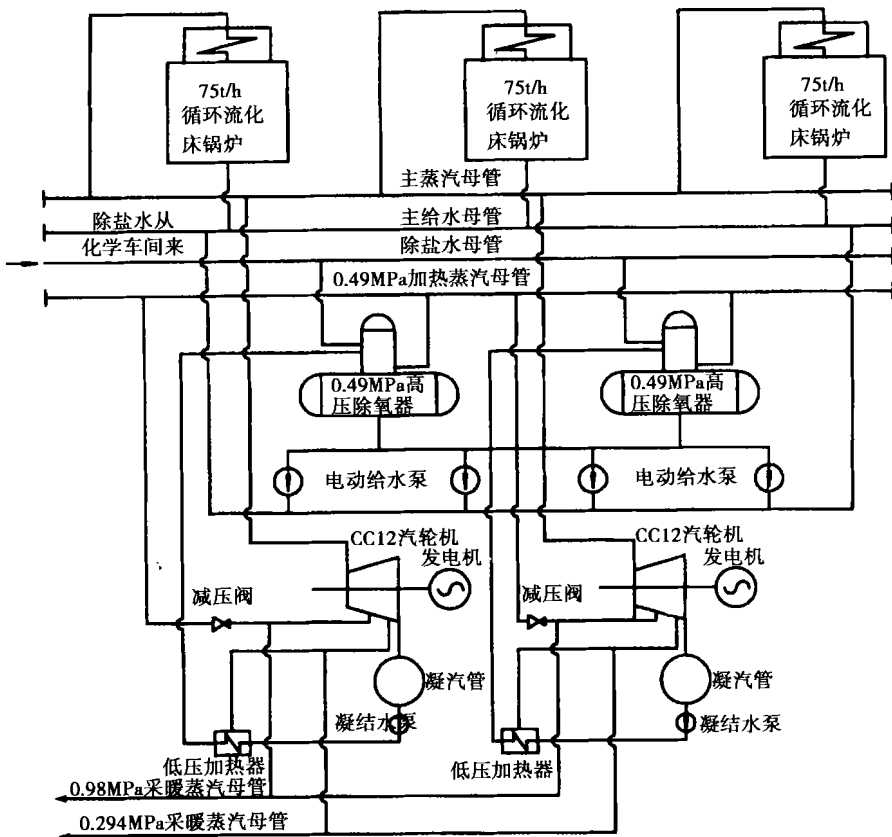


图1 同合热电厂原则性热力系统图

功率: 15 MW;  
 电压: 6.3 kV;  
 转速: 3 000 r/min.

回热系统设置的主要设备有: 两台 XMC-150 旋膜式除氧器; 两台低压加热器; 4 台 DG85-80X10 电动给水泵; 4 台 4N6X2 凝结水泵等。

XMC-150 旋膜式除氧器的工作压力和 DG85-80X10 电动给水泵入口侧压力均为 0.49 MPa, 出口水温度 150 °C;

全厂汽水系统采用母管制后, 汽轮机的第一级和第二级抽汽参数分别为 0.981 MPa、0.294 MPa, 除氧器加热蒸汽只得用 0.981 MPa 参数蒸汽减压至 0.49 MPa 参数后使用(见图 1)。为了热力系统的运行安全, 在 0.981 MPa 蒸汽进入 0.49 MPa 加热蒸汽母管前, 加一个减压阀, 减压阀压力调整到高压除氧器的安全门启动压力以下, 高压除氧器自动调节系统在安全压力以下自动调节。

热网采用三环制, 汽-水换热在主厂房内固定端换热站完成, 热网换热器 133 °C 的凝结水直接进入高压除氧器; 水(120 °C)-水换热在供热区域内

换热站完成; 出区域换热站 90 °C 载热工质提供给热用户。

### 3 简化热力系统的技术特点

#### 3.1 简化后 CC12 MW 汽轮发电机组热力系统的第一个特点

把过去传统热力系统逐级加热、除氧, 改为加热、除氧一次完成。简化后热力系统的锅炉是 75 t/h 循环流化床锅炉, 它要求的给水温度 150 °C, 150 °C 饱和水温度对应的饱和压力是 0.49 MPa, 也就是除氧器的工作压力, 此条件可以保证 75 t/h 锅炉给水温度的要求, 解决热力系统冷源损失。

为加热、除氧一次完成的目的, 我们选择了旋膜式除氧器。

旋膜式除氧器的传热传质方式, 不同于老式的栅盘式、泡沸式及喷雾式除氧器, 而是采用射流及旋膜方式进行传热传质的。旋膜式除氧器设有二级除氧装置, 第一级是起膜器组, 它是除氧的主要部件。第二级是填料层, 用作深度除氧(见图 2)。

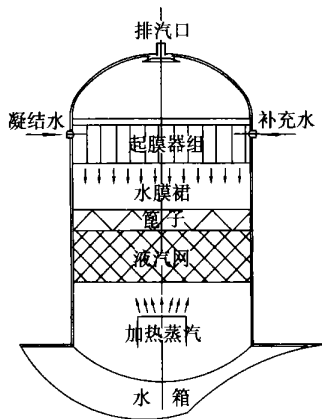


图2 旋膜式除氧器

第一级起膜器组可将溶解氧下降约 99.3%。起膜器采用了射流技术。高速流动的射流束, 将射流束两侧的静止气体带动, 在射流束两侧造成局部

低压区, 远处气体不断流向低压区补充, 气体又不断地被射流束带走, 射流束形成带走——补充——带走的运动全过程, 称为射流的卷吸作用。除氧器内的一级除氧, 就是利用旋膜、水裙和射流束的卷吸作用与蒸汽充分接触, 吸收大量的热量, 使水温大幅度提高, 将水中溶解氧大量释放出来, 离析出的氧随着上升的蒸汽, 从起膜器内孔排到上封头, 再排入大气。传热传质的过程完成。

第二级深度除氧采用蓖子和液态网, 可将溶解氧下降至 99.977%。

旋膜除氧器有如下优点:

(1) 传热系数大、传热面积大、传热效果好, 它的进、出口水的温升可达到 90 °C。因此旋膜除氧器最适用于补水量大、补水温度低的热电厂;

(2) 在发电机组负荷大幅度变动时, 能保证除氧效果良好;

(3) 在任何工况下不会产生振动, 安全性好;

(4) 旋膜除氧器排气量小, 能源损失小, 可获得比较好的经济效益;

(5) 旋膜除氧器可适用于滑压运行, 操作简便。

根据旋膜除氧器的技术条件, 可以在 CC12 MW

汽轮发电机组热力系统中, 一次完成加热、除氧。

### 3.2 简化热力系统的第二个特点

避免低压除氧器产生自沸腾, 消除安全隐患。

传统的 12MW 汽轮发电机组回热系统设计, 是采用 0.112 MPa 低压除氧器, 饱和温度是 104 °C, 在通过高压加热器换热升温, 使进入锅炉的给水温度达到 150 °C。现代热电厂为节约投资, 保证比较大的供热范围, 热力管网都采用三环制。提高二环热网的给水温度, 可以缩减二环热网的管径。热电厂提供采暖蒸汽参数是 0.294 MPa, 饱和温度是 133 °C, 133 °C 的凝结水进入低压除氧器, 如果除盐水补量少, 低压除氧器必然产生自沸腾。简化热力系统取消高压加热器用高压除氧器代替低压除氧器, 使除氧器参数提高到 0.49 MPa, 饱和温度为 150 °C, 完全满足锅炉给水温度的要求, 这样也不会产生自沸腾, 保证了除氧器的安全运行。

### 3.3 简化热力系统的第三个特点

未简化热力系统的设备投资 165 万元, 安装费 15 万元。简化后的热力系统设备投资 107 万元, 安装费 13 万元。两个方案对比: 简化后的热力系统设

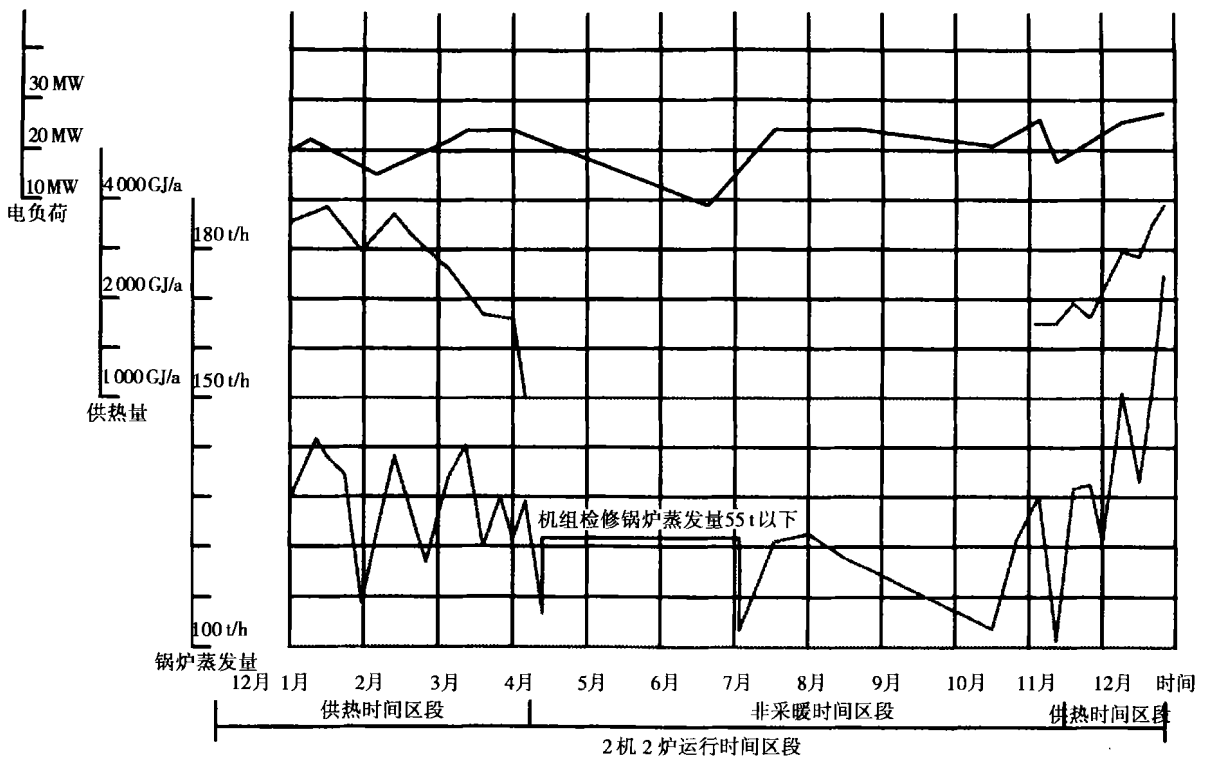


图 3 同和热电有限公司 2000 年 12 月 26 日 ~ 2001 年 12 月 25 日汽检发电机组运行工况曲线

备投资比传统热力系统可节约 58 万元, 节约安装费 2 万元。

#### 4 运行状况

秦皇岛同和热电有限公司这两台汽轮发电机组于 2000 年 5 月运行, 由于工业蒸汽的三环热网尚未建立完备, 工业负荷供热无法提供。目前运行工况是工业热负荷为零, 采暖热负荷也未达到设计值。采暖期 3 炉 2 机运行, 非采暖期 2 炉 2 机运行。锅炉蒸发量 129~150 t/h, 2 台汽轮机的发电功率为 22~24.5 MW, 采暖期供热量为 2 600~3 900 GJ/a。图 3 中记录的是 2000 年 12 月 26 日~2001 年 12 月 25 日运行情况, 2001 年 12 月 21 日前为 2 炉运行, 以后为 3 炉运行。锅炉的给水温度恒定为 150 °C, 经旋膜式除氧器处理的锅炉给水含氧量 3~5 μg/L, 发电煤耗为 361.7~406.6 g/(kWh), 全厂热效率为 51.5%~55.65%。从机组运行情况看, 简化后的热力系统运行稳定, 达到了预期的效果。如果工业、采暖热负荷全部达到设计值, 其经济指标也会达到设计值。

#### 5 结论及注意的问题

从秦皇岛同和热电有限公司热电厂机组近 3 年的运行状况看, 简化后的热力系统运行是安全的, 热电厂获得稳定的经济效益。

提高除氧器压力等级, 可以消除高压加热器泄露问题。避免除氧器“自生沸腾”现象的发生, 运行更安全。气体溶解氧降低, 气体在水中的离析过程加剧, 除氧效果会更好。电厂反映: 热力系统“运行 3 年多以来, 锅炉给水溶氧一直稳定在 3~5 μg/L 之间”。

简化的热力系统, 可以节约设备投资 35% 和安装费 13%, 有效的减少了建设项目的初投资。

如果 12 MW 汽轮发电机组的回热抽汽设计有 0.49 MPa 参数, 简化热力系统将更加完备。

该系统运行 3 年以来, 要注意一个问题, 简化热力系统电动给水泵采用的型号是: DG85-80X10, 它同传统热力系统采用的电动给水泵是相同型号。我们只是将简化热力系统电动给水泵, 入口侧压力提高到 0.49 MPa, 温度提高到 150 °C, 希望供货选型时应满足技术要求。生产厂改造了给水泵入口法兰和入口处前几级叶轮、密封环也是简化热力系统安全运行的一个非常重要因素。

#### 参考文献:

- [1] 金保华. 中小热电站热力系统的简化[J]. 冶金能源, 1994, 13(4): 50-54.
- [2] 祁世栋. 300 MW 机组旋膜除氧器介绍[J]. 东北电力技术, 1994, 15(3): 1-13
- [3] 钱国忠. 膜式除氧器技术[A]. 能源部除氧器安全技术交流会论文集[C]. 上海: 能源部安全环保局, 科学技术司, 1992. 82-93.

(何静芳 编辑)

## 改进的燃气轮机排气过渡段

据《Diesel & Gas Turbine Worldwide》2002 年 10 月号报道, Rolls-Royce Avon 燃气轮机是一台十分成功的发动机, 至今已销售了 200 多台。许多机组运行已超过 20 年。

位于燃气发生器和动力涡轮之间的排气过渡段可能是热燃气漏泄的来源和导致功率损失的原因, 过渡段形成了用于由燃气发生器产生的高温(高达 650 °C)排气的导管。为了防止热燃气漏泄, 原来的设计在每一端都使用活塞环, 以便形成密封并允许导管适应热膨胀和由于滑动而造成的收缩。但是, 过渡段和燃气发生器排气机匣常常经受严重失圆的蠕变变形。由于排气压力对于活塞环是相当低的, 活塞环不能适应变形, 从而可能产生相当大的热燃气漏泄。

漏泄不仅引起功率损失, 而且也导致发动机罩壳过热和附近的热电偶线束损坏。鉴于这种情况, 美国马萨诸塞州波卡赛特市 Fem 工程公司已开发了过渡段新设计, 以便解决上述问题。

Fem 工程公司的设计特点是波纹管式褶皱段, 以便适应热膨胀, 并且前、后法兰用螺栓一体地连接在一起以便保证燃气严密密封。导管的前部紧密地用螺栓连接到被安装在 Avon 排气机匣上的连接法兰, 而后法兰与原有的动力涡轮法兰相匹配。

该设计使用了 Inconel 625 LCF 材料, 以便更好地承受苛刻的运行条件并抵抗变形和循环疲劳。应用结果表明, 改进的排气过渡段能有效地消除热燃气漏泄并恢复损失的功率。

(吉桂明 供稿)

**Conductivity of Deep-layer Rock Soil** [刊, 汉] / YU Ming-zhi, PENG Xiao-feng (Thermal Engineering Department, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084), FANG Zhao-hong (Shandong Institute of Architectural Engineering, Jinan, China, Post Code: 250014) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(5). — 512 ~ 514, 518

To facilitate the on-site measurement of physical properties of media in engineering applications, a simplified heat-transfer analytical method is proposed to determine the thermal conductivity of deep-layer rock soil. The method under discussion does not need exact information about the following parameters: the specific location of an embedded tube in a borehole, the distance between a riser tube and a downcomer, and the physical properties of the embedded tube and backfill material, etc. As a result, all errors brought about by the measurement of the above parameters can be eliminated. An on-site measurement was taken of the heat flux of an embedded tube loop, the loop circulating water flow rate and the time-dependent change of inlet and outlet water temperature of the loop. On this basis and by utilizing a simplified analytical and optimized evaluation method the thermal conductivity of underground rock soil on a certain working site was determined, thus verifying and confirming the practicality and reliability of the recommended method. **Key words:** heat transfer model, measurement, rock soil, thermal conductivity

**高、低压加热器低水位运行的分析研究 = Analytical Research on the Low Water-level Operation of High and Low Pressure Heaters** [刊, 汉] / SUN He-tai (Steam Turbine Department, Jiangsu Provincial Research Academy of Electric Power, Nanjing, China, Post Code: 210032) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(5). — 515 ~ 518

The harmful effects of low water-level operation of high and low-pressure heaters are presented and discussed. By using an equivalent enthalpy-drop method a thermo-economic analysis was performed of 125MW and 200MW units involving low-pressure heaters operating at a low water level with the extent of negative influence being evaluated. From the viewpoint of structural design and on-site operating conditions, etc the causes leading to heaters operating at a low and even an absence of water level are identified with some measures for improvement being proposed. All the above may have a significant practical value for the guidance of power plant operation. **Key words:** heater, water level, economy, equivalent enthalpy-drop method

**CC12 MW 供热汽轮发电机组热力系统简化设计及应用 = Simplified Design of a Thermodynamic System for a CC12 MW Heat-supply Turbogenerator and its Implementation** [刊, 汉] / JIN Bao-hua, CAO Yu (Power Generation Department, Liaoning Electric Power Exploration and Design Institution, Shenyang, China, Post Code: 110005), QIN Yan (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(5). — 519 ~ 522

The simplified design philosophy and technical features of a CC12MW turbogenerator thermodynamic system for heat supply are described. Moreover, the economic benefits and operating conditions after the simplification of the thermodynamic system are also presented with an analysis of the still existing problems and relevant measures taken for their resolution. **Key words:** thermodynamic system, simplification, thermal load, rotating-film deaerator

**能量分析与一次风煤粉浓度测量 = Energy Analysis and Measurement of Pulverized-Coal Concentration in Primary Air** [刊, 汉] / YIN Jing, YANG Xing-sen (Thermal Energy Research Institute under the Shandong Provincial Electric Power Academy, Jinan, China, Post Code: 250002) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(5). — 523 ~ 525

During the boiler operation of a thermal power plant the uniformity of pulverized-coal flow of a pulverized-coal burner in primary air plays a key role in ensuring the safe and economic operation of a boiler. The accurate measurement of the concentration of pulverized coal in primary air is a problem of great importance, which has yet to be effectively solved. This is especially so in the case of pulverized coal monitoring in a boiler using exhaust gas for pulverized-coal transport. The mixed process of primary-air flow and pulverized coal particles is analyzed. On this basis and proceeding from the en-