



# CCPP 中蒸汽旁路和锅炉给水泵技术的研究

徐迎超<sup>1</sup>,樊泳<sup>1</sup>,阎波<sup>2</sup>,范晓明<sup>2</sup>,寇彦德<sup>1</sup>

(1.北京首钢国际工程技术有限公司,北京,100043;2.首钢股份公司迁安钢铁公司,河北邯郸,064404)

**【摘要】**首钢迁钢公司 2×50 MW 燃气—蒸汽联合循环(CCPP)发电工程结合国内机组运行情况,对燃气—蒸汽联合循环发电机组系统做了以下改进:蒸汽系统增加蒸汽旁路,凝汽器设置为带旁路的凝汽器;余热锅炉给水泵采用高低压双输出给水泵技术。解决了机组在启停机时蒸汽放散的问题,同时回收了除盐水,降低了给水泵的电耗,年增加净利润 94 万元。

**【关键词】**CCPP; 蒸汽旁路; 凝汽器; 给水泵

**【中图分类号】**TM611

**【文献标识码】**B

**【文章编号】**1006-6764(2015)09-0037-03

## A Study on the Steam Bypass and Boiler Water Feed Pump Technology in CCPP

Xu Ying chao<sup>1</sup>, Fan Yong<sup>1</sup>, Yan Bo<sup>2</sup>, Fan Xiao min<sup>2</sup>, Kou Yan de<sup>1</sup>

(1. Beijing Shougang International Engineering Technology Co., Ltd., Beijing, 100043;

2. Shougang Qianan Iron and Steel Company, Handan, Hebei 064404, China)

**[Abstract]** The 2×50 MW gas-steam combined cycle power project of Shougang Qianan Steel made the following improvements on the CCPP system based on the actual operation conditions of domestic CCPP units: adding a steam bypass in the steam system, the condenser to be set up with a bypass and adopting high and low pressure dual output technology in the HRSG feed water pump. This upgrading modification has solved the problem of steam bleeding at unit startup and shutdown, at the same time recovered desalted water and reduced the power consumption of the water pump, which increased net profit by 940,000 yuan annually.

**[Keywords]** CCPP; steam bypass; condenser; feed water pump

### 1 前言

燃气蒸汽联合循环(Combined Cycle Power Plant)发电机组,简称CCPP。燃气轮机自身的发电效率不算很高,一般在30%~35%,但是其产生的废热烟气温度高达450℃~550℃,可以通过余热锅炉再次回收热能转换成蒸汽,驱动蒸汽轮机再发一次电,从而形成燃气轮机—蒸汽轮机联合循环发电,发电效率可以达到58%~60%,一些大型机组甚至可以超过60%。同时,还具有开、停机快,运行负荷调节幅度大速度快等特点,该技术在钢铁行业中得到快速应用,用于回收其高炉、焦炉生产过程中产生的大量气体燃料副产品(高炉煤气、焦炉煤气)进行发电,提高了发电效率,又能很好地满足钢铁企业煤气动态平衡的需要,减少放散<sup>[1,3]</sup>。

CCPP中的锅炉和汽机都可以外供蒸汽,联合循环可以灵活组成热电联产工厂。在CCPP系统中有一个煤气压缩机(GC)单元,特别在低热值煤气发电中,煤气压缩机比较大。众所周知,余热锅炉加蒸汽轮机发电是常规技术,CCPP的技术核心是燃气轮机,燃气轮机一般是透平空压机、燃烧器与燃气透平机组合的总称。电力工业采用的CCPP常用天然气、重油等高热值燃料,钢铁厂CCPP以燃高炉煤气为主,有的工厂有可能掺入少量焦炉煤气,用于发电的煤气热值(800~1350)×4.18 kJ/m<sup>3</sup>,只是天然气的1/10~1/6。低热值煤气燃烧不易稳定,煤气体积庞大,煤气压缩功增加,增加了低热值CCPP技术的难度。低热值煤气的燃烧技术主要有两种技术流派:一种是采用单筒燃烧器的燃气轮机,

使用的煤气热值可在  $800 \times 4.18 \text{ kJ/m}^3$  左右, 如 ABB、新比隆公司的产品; 另外一种是多筒燃烧器的燃机, 多用于煤气化联合循环发电(IGCC), 煤气热值  $1334 \times 4.18 \text{ kJ/m}^3$ , 煤气含  $\text{H}_2$  量 10%左右, 如 GE 公司与三菱公司的产品, 通钢、马钢采用了这种机组<sup>[2]</sup>。CCPP 从设备布置方面分为两种: 一种为单轴布置, 即煤气压缩机、汽轮机、发电机、燃气轮机在同一轴上, 单轴布置工作效率高, 布置紧凑, 占地面积小; 另一种为双轴布置, 即煤气压缩机、燃气轮机、发电机共轴, 蒸汽轮机、发电机共轴, 这种设备布置方式需要 2 台发电机, 分轴布置工作效率较低, 占地

大, 但可以分开建设。

## 2 CCPP 发电机组的选择及工艺流程

迁钢 50 MW CCPP 电站采用日本三菱重工公司生产的 M251S 型分轴布置机组, CCPP 发电机组主要设备为: M251S 型燃气轮机(含空气压缩机)、29 MW 燃气轮机发电机、余热锅炉、煤气压缩机、煤气电除尘器、煤气冷却器、蒸汽轮机、25.0 MW 蒸汽轮发电机。

日本三菱重工公司的 CCPP 发电机组工艺主要系统为: 燃机发电系统、余热锅炉系统及蒸汽轮机发电系统, 工艺流程见图 1。

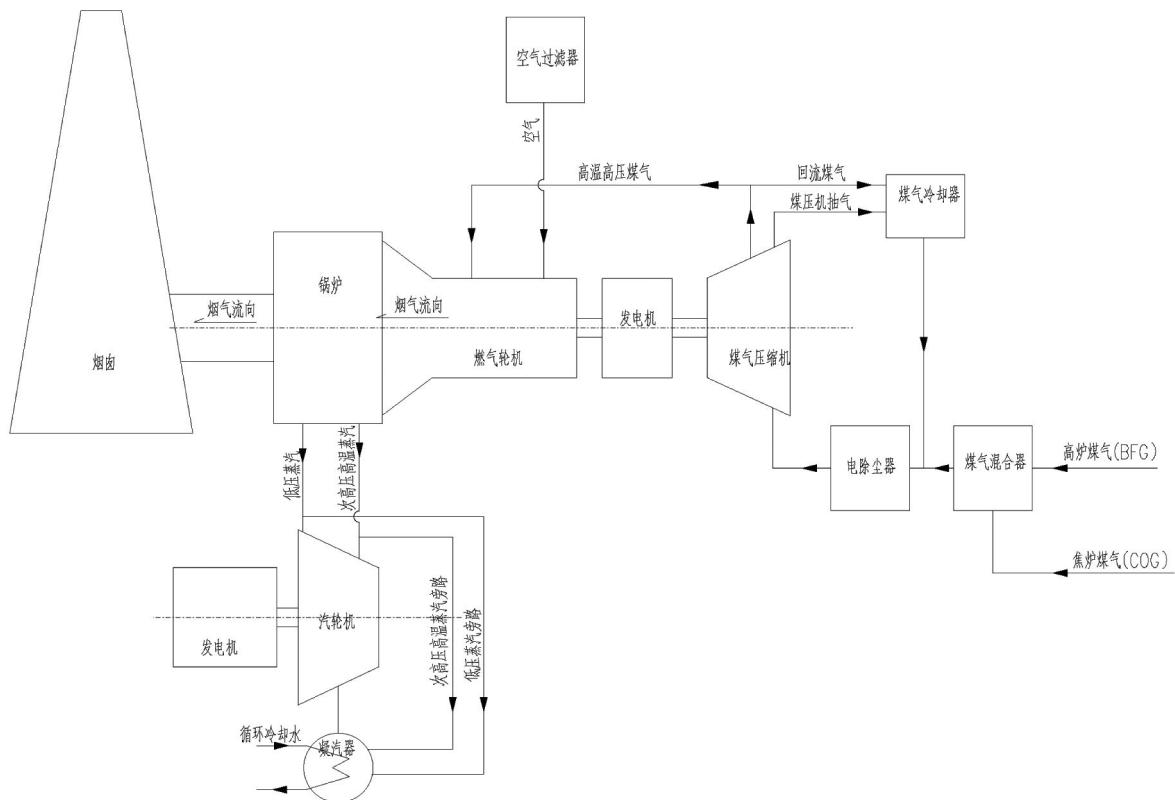


图 1 工艺流程图

### 2.1 燃机发电系统

燃机发电系统包括煤气系统、润滑油系统、控制油系统、闭式冷却水系统、 $\text{CO}_2$  灭火保护系统、空气系统及叶片清洗系统。

### 2.2 余热锅炉系统

燃气轮机燃烧完排出的 500~600 °C 的高温烟气, 通过省煤器、蒸发器、过热器将锅炉中的高压水和低压水加热成高压高温蒸汽和低压蒸汽。这个过程属于常规的余热回收利用。

### 2.3 蒸汽轮机发电系统

蒸汽轮机发电机组分别设主蒸汽系统、抽汽系

统、润滑油系统、控制油系统、凝结水系统、真空系统、轴封系统、凝结水系统、疏放水系统。

## 3 蒸汽旁路技术的研究

### 3.1 国内技术现状

50 MW 级别 CCPP 发电机组目前国内配套的汽轮机凝汽器均为普通凝汽器, 在燃气轮机启动时, 余热锅炉产汽参数达不到汽轮机进汽参数要求, 只能对空放散, 同样在汽轮机跳机时, 余热锅炉产汽也只能对空放散。这样既产生了白色污染, 同时造成热损失及除盐水损失。

目前仅在 150 MW 及以上级别汽轮发电机组

中使用100%主蒸汽旁路技术，并且主调节阀均为CCI或FRANK等进口设备，价格高昂。

### 3.2 改进方案

本技术研发应用带高低压蒸汽旁通装置的凝汽器，在CCPP机组冷态、温态、热态启动期间，通过蒸汽旁路装置建立初级循环，并配合汽机调速系统完成定压滑参数启动，解决了在燃机升负荷期间的轻载待机问题，燃机按照独立运行方式完成启动、运行、升负荷，无需等待汽轮机组暖机启动，冷态由启动至满负荷时间缩短4~6 h，启动全过程无蒸汽放散。

#### (1) 次高压主蒸汽旁路

次高压主蒸汽旁路采用气动调节阀+两级节流孔板减压技术。气动调节阀的作用是配合次高压主汽阀及汽轮机工作状态决定次高压主蒸汽旁路是否投入；一级节流孔板安装在气动调节阀后，将蒸汽压力减至0.5 MPa；二级节流孔板安装在凝汽器喉部，将蒸汽压力减至0.0625 MPa。一级喷水减温安装在一级节流孔板后，将蒸汽温度减至152 °C，二级喷水减温采用凝汽器喉部喷淋，将蒸汽温度降至102 °C。

#### (2) 低压补汽旁路

低压主蒸汽旁路采用气动调节阀+一级节流孔板减压技术。气动调节阀的作用是配合低压补汽阀及汽轮机工作状态决定低压主蒸汽旁路是否投入；一级节流孔板将蒸汽压力减至0.0625 MPa。喷水减温采用凝汽器喉部喷淋，将蒸汽温度控制在102 °C。

#### (3) 自主开发研制双鼠笼主蒸汽旁路调节阀

针对CCPP燃气轮机的启动、停机及变工况条件下的余热锅炉产汽特性，确定主蒸汽及旁路蒸汽调节阀的Cv曲线，结合调节阀快开、快关的工艺特点，自主研发汽缸式双鼠笼形式调阀，实现旁路调节阀快速开闭时间小于1 s，泄漏率低于V级，性能达到进口设备标准，价格仅为进口设备的1/4。

## 4 锅炉给水泵技术的研究

### 4.1 国内技术现状

三压余热锅炉需配套高压给水泵和低压给水泵，每台给水泵均需要预留备用，造成燃气—蒸汽联合循环发电机组配备的泵种繁多，检修维护量大，布置占地大，一次投资大，用电成本高。

### 4.2 改进方案

本工程采用高低压双输出给水泵技术，由高压给水泵同时输出高低压两级给水，减少2台低压给水泵，降低了给水设施自用电量，同时减少一次投资及运行维护量。

高压给水泵为多级给水泵，在满足低压给水参数的级上设置低压给水抽头，通过水泵的动态水力模型试验，当低压给水量小于高压给水量的30%时，水泵轴功率仅需增加5%，小于高低压双泵同时运行时的电耗。

## 5 新技术应用效果

### 5.1 蒸汽旁路技术应用效果

(1) CCPP机组分启动过程中无需燃机机组轻负荷待机配合汽轮机暖机启动，冷态启动时间缩短约4 h。

(2) 在燃机机组负荷出现波动时，旁通装置可配合调节汽轮机进汽量，从而实现汽轮机负荷快速调整。

(3) 带旁路的凝汽器技术使用后，在燃气—蒸汽联合循环发电机组启动和停机时，蒸汽不在对空放散，这样不仅解决了蒸汽的白色污染，也回收了优质的除盐水，减少了发电系统的除盐水补充。

### 5.2 锅炉给水泵技术应用效果

双输出给水泵技术的应用，降低了工程阶段的投资，减少了运行时的给水泵耗电量，减少了占地，方便运行人员的操作和维护。

## 6 结论

通过应用如上创新技术，首钢迁钢公司50 MW燃气—蒸汽联合循环发电解决了机组在启停机时蒸汽放散问题，回收了除盐水；降低了给水泵的投资和运行维护费用，年增加净利润94万元。

### [参考文献]

- [1] 彭艺辉. 燃气蒸汽联合循环(CCPP)发电技术[J]. 柳钢科技, 2011, 1: 57.
- [2] 刘海宁, 陆明春. 浅谈钢铁公司自备电厂燃气—蒸汽联合循环发电技术(CCPP)[J]. 天津冶金, 2007, 5: 56.
- [3] 徐迎超, 阎波, 樊泳, 崔合群, 周玉磊. 燃气—蒸汽联合循环(CCPP)发电在首钢迁钢公司中的应用[J]. 冶金动力, 2012, 1: 28.

收稿日期：2015-06-09

作者简介：徐迎超(1982-)，男，工程师，现主要从事节能环保、余热利用、发电项目的设计与研究工作。