

CNIC-01296
RINPO-0021

蒸汽发生器综合试验台架

陈长兵

(核动力运行研究所, 武汉)

摘 要

简述了 30 MW 蒸汽发生器综合试验台架的主要系统、设备情况, 该台架是由一、二主回路系统及相关的辅助系统组成的一个完整的热力系统, 已完成了蒸汽发生器试验体热态性能试验。同时, 初步分析了综合台架的适用范围和功能, 提出了如何利用台架的设施拓展其试验领域的设想。

Steam Generator Comprehensive Testing Facility

(In Chinese)

CHEN Changbing

(Research Institute of Nuclear Power Operation, Wuhan)

ABSTRACT

The main system and equipment of a capacity of 30 MW steam generator testing rig is briefly introduced. The thermal performance of steam generator simulator has been verified with a steam generator model comprehensive testing. The application and function of the Facility are analyzed. And the effective use of the equipment of the Facility is also proposed.

1 概 述

30 MW 蒸汽发生器综合试验台架是一个以进行蒸汽发生器热态试验为主的大型综合性试验台架。无论从容量、参数, 还是系统设置看, 这个台架在国内是唯一的。根据我国当前核电站蒸汽发生器研制过程, 该试验台架在设计参数、设备选型中均考虑了多种蒸汽发生器参数的试验要求。在系统设计中, 尽量考虑各回路参数能在较大范围内调整, 以扩大作为综合性试验台架的适用范围。

该试验台架位于核动力运行研究所内, 已按设计要求完成了 30 MW 蒸汽发生器试验体热态综合性能试验。

2 综合台架主要系统和设备

综合试验台架主要有: 一、二回路系统、空气稳压系统、补水系统、水处理系统、设备冷却水及增压冷却水系统、表面减温冷却水系统、鼓风烟道系统、燃油雾化系统、应急柴油发电机系统、热工测量与控制系统、电气控制系统等。

2.1 一回路系统及主设备

2.1.1 一回路系统

综合试验台架一回路系统主要由锅炉、表面减温器、蒸汽发生器试验体、主热水循环泵 (包括备用屏蔽泵) 及相应管道附件等组成。该回路以燃油热水锅炉作为热源, 使循环水升温, 经过表面减温器调温后进入试验体。试验体出来的热水经过主热水循环泵升压后进入锅炉, 如此形成闭式循环。

回路系统的压力通过空气稳压和高压补水系统来维持, 以保证循环泵运行要求和达到试验要求的压力参数。

通过锅炉的燃烧调节控制以及表面减温器的温度调节来满足试验体一次侧进口温度要求。

该回路中设置了两台主热水循环泵提供循环动力。通过采用单(双)台泵运行方式以及通过主泵旁路调节回路和试验体的旁路调节来调整流量, 以满足不同流量的试验要求。

2.1.2 一回路系统中的主要设备

(1) 锅炉

根据综合试验台架所考虑的试验体参数情况, 结合试验室建设特点确定锅炉的型式和参数。额定参数为: 热功率 30 MW, 进口 / 出口压力 18 / 17.6 MPa, 进水 / 出水温度 300℃ / 334℃, 质量流量 530 t/h。锅炉型式为亚临界 (压力) 高温热水强制循环直流锅炉, 室内 π 型布置, 微正压运行, 以轻柴油为燃料。

锅炉参数中考虑了允许其参数能在较大范围内变化, 最低热功率能维持在 1.055 MW, 最大质量流量可达 644 t/h。在燃烧装置中, 共设置了 16 组 6 种规格的油枪以适应不同负荷要求。

针对试验室用锅炉的特点, 选用轻柴油为燃料, 采用微正压燃烧, 省掉引风机等设备, 简化了锅炉辅助系统, 提高了台架的机动性, 便于燃烧调节控制和试验室运行管理。

(2) 表面减温器

表面减温器配合锅炉燃烧以调整进入试验体的介质温度,其作用主要表现在三个方面:一是配合锅炉的燃烧系统,作为精确调温装置调整试验体所需要的进口温度;二是扩大了试验体的低负荷运行范围,因为为了维持锅炉安全运行,其负荷有最低要求,通过表面减温器可以进一步降低试验体的热负荷;三是在紧急情况下(如停电等),通过表面减温器冷却水系统的投入来冷却一回路中的热水,带走锅炉中的余热以保证台架的安全。该设备换热容量可达 3 MW,即在锅炉额定流量 (530 t/h) 下,具有 3 °C 调温能力。

(3) 主热水循环泵

一回路设置了两台主热水循环泵,属立式屏蔽泵结构型式,单台泵参数如下:

进口压力	16.5 MPa
进口温度	300 °C
扬程	140 m
流量	450 m ³ /h
功率 冷 / 热	305 kW / 230 kW

通过两台泵并联组合运行可以实现一回路流量在较大范围内调整。

(4) 备用屏蔽泵

台架中设置的备用屏蔽泵流量 100 m³/h,扬程 70 m。其主要作用是在应急情况下依靠应急柴油发电机组的供电,维持一回路水的循环,保护系统安全。

2.2 二回路系统及主要设备

2.2.1 二回路系统

二回路系统主要由减压减温装置、冷凝器、冷凝泵、低压加热器、除氧器、给水泵、高压加热器及相应管道附件等组成。

给水经过给水接管进入蒸发器试验体加热后产生蒸汽,饱和蒸汽通过主蒸汽管道及各级抽汽管道进行分配。部分蒸汽分别通过高压加热器、除氧器和低压加热器抽汽管道进入各级加热器形成抽汽加热子系统;主要蒸汽进入减压减温装置降低参数后进入冷凝器冷凝,冷凝水经过冷凝泵进入低压加热器加热后进入除氧器,从除氧器出来的水经给水泵进入高压加热器加热后,达到试验体所需要的给水温度进入试验体,形成闭式热力循环系统。试验体所需要的给水温度通过回路中所设置的三级加热器组合工作来达到要求,给水流量和压力通过所设置的两台参数不同的给水泵给水调节回路与旁通调节回路共同作用以满足要求。

2.2.2 二回路主要设备

(1) 给水泵和冷凝泵

根据台架所设计的给水系统与冷凝水系统参数情况,选用了三台标准泵,分别如下:

给水泵: DG45-80×12 型和 DG45-80×6 型,各一台

冷凝泵: 100N130 型,

其中给水泵输送水温度可达 158 °C,冷凝泵输送水温度可达 110 °C。

(2) 加热器设备

台架中的三个加热器均是根据台架参数要求单独设计制造的产品。通过其共同作用,

最终可以满足最高质量流量 60 t/h, 最高温度 226 °C 的给水参数要求。其中高压加热器与低压加热器以饱和蒸汽为加热热源, 依靠蒸汽冷凝时的潜热加热给水; 除氧器属“高压除氧装置”, 其水箱容量按可以满足台架最大流量下不间断供水 15 min 的需要进行设计。它作为混合式加热设备, 既起到加热作用, 又起到除氧作用。同时, 它又是收集二回路中介质(疏水)的容器。

(3) 减压减温装置

减压减温装置的主要作用是将从蒸汽发生器试验体出来的主蒸汽进行减压减温至冷凝器所要求的参数。这个装置是个较特别的装置。由本体系统、安全系统与控制系统组成。为适应台架负荷变化情况, 与常规的减压减温装置相比, 该装置有两个独特之处: 要求其减压幅度大, 负荷变化范围大。为此, 重点考虑其减压阀及减压孔板、喷水调节阀、温度压力自动控制系统三个方面的问题。

2.3 三回路系统

三回路系统主要由冷凝器、冷却塔、冷却水池、循环冷却水泵及相应管道附件组成。

通过两台循环冷却水泵将冷却水池中的水打入冷凝器管侧以冷凝二回路蒸汽, 然后进入两台玻璃钢冷却塔, 将热量传给大气, 而水由冷却塔白流入水池, 如此实现半封闭式循环。冷却塔和冷凝器的换热功率均为 30 MW, 其中冷却塔是大流量高温差工业型横流式玻璃钢冷却塔。整个系统的冷却水流量可以通过旁路系统进行较大范围调整。

2.4 其它系统

2.4.1 空气稳压与高压补水系统

该系统主要由空压机、稳压器、高压补水泵组成。能提供 ≤ 17.6 MPa 的稳定压力。该系统用于给一回路系统升压和在回路稳定运行时稳定回路压力。

2.4.2 水处理系统

根据台架容量和水质要求, 设置了由机械过滤器、阴阳离子交换器及软化水箱与酸碱系统组成的水处理系统。造水能力为 2 t/h, 可一次性储存软化水 10 t。

2.4.3 设备冷却水及增压冷却水系统

本系统主要是按需要冷却的设备的用水量进行设计的, 考虑到试验室工业水压力较低的情况, 设置了一套增压冷却水系统, 压力达 0.4 MPa, 流量 50 t/h, 能满足整个台架工业冷却水的需要。

2.4.4 表面减温冷却水系统

该系统设置了两台小循环冷却泵和两台小冷却塔, 最大冷却水质量流量为 160 t/h, 可以满足 3 MW 表面减温器冷却能力的要求。

2.4.5 鼓风烟道系统

该系统由鼓风机、风道、烟道等组成。它是按照能满足锅炉燃烧所用风量及维持微正压运行的要求而设计的。

2.4.6 燃油雾化系统

本系统根据锅炉燃烧系统要求而设计, 由中间油箱、齿轮油泵、油过滤器、螺杆油泵等组成, 能满足燃油压力 2.5 MPa, 油量 3 t/h 的要求。

2.4.7 应急柴油发电机系统

从台架在紧急停电情况下仍能较人的安全性方面考虑,综合台架配置了一台 400 kW 应急柴油发电机组,能满足在应急情况下保证回路安全所需的电动设备(备用高压补水泵、备用屏蔽泵、鼓风机、表面减温器冷却水泵及小冷却塔风机、增压泵等)的启动运行需要。在停电情况下可以紧急启动这些电动设备。

2.4.8 回路测量及自动控制系统

该系统能对整个台架各回路系统运行全过程进行检测,对主要热工参数进行测量、显示及记录,为试验运行提供数据。部分测量系统参数提供热工控制使用,以保证台架正常运行。

根据台架回路运行要求,在台架中设置如下自动控制系统:锅炉燃烧自动控制、表面减温自动控制、蒸汽负荷控制、主蒸汽一级减压调节控制、试验体水位控制、各热力设备水位控制、各级抽汽加热控制、给水流量控制、凝给水流量控制等。

2.4.9 电气控制系统

台架的电气控制系统是根据台架各类用电设备的需要而设置,总装机功率 1917.5 kW。大部分采用控制室集中控制操作。

3 综合试验台架主要参数范围

3.1 综合台架各回路主要参数

一回路

热功率	30 MW
锅炉水出口温度	334 °C
流量	530 t/h
锅炉出口水压力	17.6 MPa

二回路

给水压力	0.5~7.4 MPa
给水流量	60 t/h
给水温度	100~226 °C
蒸汽压力	0.4~6.73 MPa
蒸汽流量	60 t/h

三回路

冷却水流量	1400 t/h
-------	----------

3.2 各系统实现介质参数变化的特点

3.2.1 一回路供给蒸汽发生器试验体热功率可以在 0~30 MW 范围内变化

在锅炉设计中,锅炉最小设计负荷为 1.055 MW。为安全起见,一般按锅炉最小热功率为额定热功率(30 MW)的 10%考虑。因此,维持锅炉安全运行的热功率为 3 MW。为此,在锅炉出口所设置的表面式减温器及其循环冷却水系统的最大冷却能力为 3 MW。

3.2.2 一回路系统压力可在 0.5~17.6 MPa 范围内调整运行

回路系统为全封闭式系统,通过空气稳压及高压补水系统,可以维持系统压力在 ≤ 17.6 MPa 范围内稳定。回路中的主热水循环泵最低运行压力为 0.5 MPa (此时进口水温度 $\leq 150^{\circ}\text{C}$,运行时间 <2 h)。

3.2.3 一回路进入试验体流量在 0~580 t/h 范围内变化

从锅炉安全性考虑,其最小流量不少于 229 t/h。通过主泵单、双台运行方式以及旁通调节阀共同作用,一回路流量可在 229~580 t/h 范围内变化。另外,在回路中设置了一个与蒸汽发生器试验体并联的旁路系统,并设置了一套流量测量装置。通过对试验体进口阀门及该旁路系统阀门的调整,可以实现进入试验体的流量在 0~229 t/h 范围内变化。主回路中的流量计与旁路流量计的差值就是进入试验体的一回路水流量。

3.2.4 给水流量可在 0~60 t/h 范围内变化

由于选用了两台参数不同的给水泵,在系统中既设置了给水泵旁通调节回路,又在给水管上设置了调节阀门。因此,在运行中通过旁路阀调节与给水调节阀门共同作用,可调整流量在 0~60 t/h 范围内变化。

3.2.5 给水温度可达 226°C

通过回路中所设置的三级加热器(高、低压加热器和除氧器)共同作用,可以根据试验体不同的要求,给水温度可在 226°C 以内变化。

3.2.6 主循环冷却水量在 0~1400 t/h 范围内变化

在三回路系统中设置了两台循环冷却水泵及旁通调节回路,可以实现流量在 1400 t/h 以内变化。

4 综合试验台架试验功能

4.1 蒸汽发生器热态性能试验

本台架是以进行蒸汽发生器总体热态性能试验为主要目的而设计的。其回路设计参数(压力、温度)覆盖了压水堆核电站蒸汽发生器试验参数,在较长一段时间内可以满足我国的蒸汽发生器试验需要。

4.2 综合台架潜在的其它试验功能

4.2.1 能够提供参数范围较大变化的试验条件

综合试验台架能够提供一定参数的热水、蒸汽、油、空气等,同时,具备有较大的电容量,可以适用于多种机电产品的性能试验。

4.2.2 电厂用热力设备性能试验

由于台架中的温度、压力介质参数较高,回路系统与一般火电厂很接近,可以提供电厂用各类热力设备进行试验的条件,如高、低压加热器、喷水减温器等。

4.2.3 阀门性能试验

目前国内生产的阀门,尤其是安全阀、调节阀等重要阀门,都需要按照国标要求进行性能试验,本试验台架可满足要求。在综合试验台架各主系统的基础上,适当引出部分接管和相应的测试仪表,可以进行蒸汽安全阀、热水安全阀、电动调节阀、减压阀等的试

验。

4.2.4 水泵试验

对于输送介质温度较高的水泵，其密封性能、壳体受热变形、汽蚀余量等许多指标需进行考核。国内一般的试验室不具备比较完善的条件。综合试验台架由于设置了一台高位布置的高压除氧器，拥有各种参数的介质以及大水池，可以结合水泵性能试验要求，进行水泵的试验。

4.2.5 将综合试验台架与电厂仿真相结合进行系统试验

本台架系统与核电主系统以及一般火电厂系统较为接近，除二回路中用减压减温装置代替汽轮发电机，未设置发电、供电系统外，其主要系统类似于一个3万千瓦的小型电站，并且在二回路中设置了除氧器装置，可以模拟电厂的各级给水抽汽加热系统。如果将减压减温装置和冷凝器当作假想的耗功设备，利用计算机仿真模拟电站汽轮机工作过程，进行变工况动态试验，可以为电站经济性运行提供许多有价值的数。据。

总之，综合试验台架具有很大的试验功能潜力。它具备国内许多热工动力台架无可比拟的试验条件，可以广泛地与其它热工试验室及大型机电产品研制单位协作，共同开发利用台架。