

# 600 MW 超临界供热汽轮机及供热系统设计特点

邱云峰

(江苏省电力设计院,江苏南京 211102)

**摘要:**南京热电厂采用 600 MW 超临界双抽供热汽轮机,该机型在国内电厂的应用并不多见。文中介绍了 600 MW 超临界供热汽轮机的设计特点,对供热汽轮机的可靠性以及机组供热系统的设计方案和控制方案进行了分析。600 MW 超临界双抽供热汽轮机在电厂的应用,为热电厂汽轮机型式提供了更多的选择。

**关键词:**600 MW;超临界;双抽汽轮机;供热系统

**中图分类号:**TM31

**文献标志码:**B

**文章编号:**1009-0665(2012)02-0078-03

南京热电厂在拆除老厂 6 台机组后腾出的场地上,建设 2×600 MW 超临界燃煤发电供热机组,不考虑再扩建。机组采用 600 MW 超临界供热汽轮机。汽轮机为东方汽轮机厂生产的 600 MW 超临界、一次中间再热、三缸四排汽、单轴、双背压、凝汽式、8 级回热、两级可调整抽汽供热汽轮机,每台机组中压最大抽汽量和低压最大抽汽量均为 150 t/h。该工程汽轮机为国内首台采用双抽可调 600 MW 超临界汽轮机。

## 1 汽轮机设计特点

汽轮机设计采用三缸四排汽总体设计方案,高中压缸、低压缸、轴承和阀门均采用东方汽轮机厂成熟的 600 MW 超临界纯凝机型的总体结构。针对机组双抽供热的设计技术特点,汽轮机主机结构设计除抽汽级叶片(高压末级叶片、中压末级叶片)进行了加强设计外,对高中压缸抽汽口强度也进行核算加强。

### 1.1 高中压缸可靠性设计

高中压缸的工作条件比较复杂:工作压力较高,最高使用温度可能达到 580 ℃;进汽、排汽及抽汽管集中。特别是供热机组,由于中压排汽压力(抽汽压力)、温度的降低以及抽汽管道的加大使问题更加突出。东汽应用大型结构分析软件对汽缸应力、变形、中分面螺栓强度、法兰的密封性能等进行详细校核的计算分析,同时消化吸收日立 300 MW、600 MW 汽轮机汽缸的设计思想和设计原则,保证汽缸结构更加合理,使用更加安全。

### 1.2 供热汽轮机供热可靠性设计

目前,大型供热汽轮机可以作为一般纯凝汽机组带基本负荷或调峰负荷运行,也可以在热网中按热电联供工况运行。因此就可靠性设计而言,它既有常规凝汽机组的共同性,又有供热压力大范围可

调的供热型机组的特殊性<sup>[1]</sup>。

供热机组可靠性设计主要满足下列方面的特殊要求:

- (1) 供热抽汽点前的叶片在正常允许运行工况范围内强度足够,不超温;
- (2) 低压末级叶片在最小允许冷却流量下不喷水,附加动应力不超限;
- (3) 蝶阀及其油动机在设计压差及全行程范围内不卡涩,开关灵活自如;
- (4) 甩电负荷时,保证不发生危险超速。

#### 1.2.1 供热抽汽点前的叶片可靠性

大型供热机组供热抽汽点前的叶片,由于受到抽汽压力和流量变化的影响,将受到抽汽口脉动激振力的作用,对叶片产生很大的动应力;当抽汽级压差增大时,抽汽压力达最低,供热抽汽点前几级,特别是最近级,轮周功率将大大增加,最大供热工况与凝汽工况相比可能大一倍多。因此在叶片强度设计上必须作特殊考虑。通过各种设计技术和运行限制措施,能保证叶片安全可靠的工作。

#### 1.2.2 低压末级叶片可靠性

在最大供热工况时,低压缸只通过用来冷却缸内零件的流量,流动状况十分恶劣。末级叶片处于小容积流量鼓风工况,出现倒流,旋涡,并可能诱发叶片颤振自激振动,使动应力大幅度升高。因此,供热机组低压缸末级叶片设计一般选择刚度好、阻尼大、气动性能优良的高可靠性长叶片。汽轮机采用成熟的 1 016 mm 末级叶片,保证该机组能长期安全可靠地运行。

供热机组低压末级叶片(1 016 mm 末级叶片)在可靠性方面具有以下特点:(1)在设计工况下有较高的根部反动度,能推迟小容积流量工况下根部倒流的出现,保证在最小冷却工况下排汽不超温,不需要投喷水减温;(2)具有高刚度和高强度,在正常背压及最小允许冷却流量工况下附加动应力很小,

长期运行时既不会发生疲劳破坏,更不可能发生颤振破坏,因此具有足够的安全可靠性。

### 1.2.3 调压系统可靠性

调压系统包括蝶阀及其油动机、动力油、调压控制系统等,其可靠性是保证自动供热的前提,同时也是在事故工况(如甩负荷)时影响机组安全性的主要原因之一。因此,大型供热机组调压系统具有以下技术特点,这些技术使得调压系统的可靠性得到足够的保证:

(1) 动力油采用高压抗燃油,它既减少油动机体积又大大提高了提升力;

(2) 控制系统采用全电调系统,使控制逻辑更合理、更严密;

(3) 核准油动机最大举力,并将安全系数放大到  $K=3$ ,以便将更多的不确定因素(如蝶阀发生少量变形,特殊工况下阀前压力瞬间提高等)考虑进去,使蝶阀在任何工况下都能灵活开、关;

(4) 在抽汽管道上加装抽汽快关调节阀,满足机组在供热工况下运行在“超压区”时实现外部自动调节的需要。此阀只在较大的进汽量、较小的抽汽量工况下起调节作用。此阀兼有甩负荷工况下快关的功能,因此不用再设快关阀。

### 1.2.4 甩电负荷时可靠性

热电联供时甩电负荷的事故工况对机组安全可靠性是最严峻的考验,也是用户最关心的问题,原因是大机组转子时间常数小,而供热机组甩电负荷后有害容积大,正常动态超速最大,若抽汽管道上的阀门因故障不能关闭,供热系统蒸汽大量倒灌,足以引起严重超速,后果不堪设想。

东方汽轮机厂分析比较了国外大型供热机组有关甩电负荷可靠性设计的特点,结合我国国情,最终采用了具有多重冗余安全功能的设计方案,使可靠性获得切实的保证。

每根供热抽汽管道上除按常规要求设置一个逆止阀及一个电动阀外,还串联一个具有快关功能的抽汽调节阀,其主要目的是为甩负荷(包括只甩热负荷)时快关而设。

甩电负荷信号既联动抽汽快关调节阀快关,也联动蝶阀暂关,使高、中压缸短时做负功,以阻止机组超速。

### 1.2.5 甩热负荷时可靠性

甩热负荷时可靠性系指维持锅炉工况不变,将供热工况快速可靠地转变为纯凝汽工况。

甩热负荷信号联动抽汽管道上抽汽快关调节阀与逆止阀快关,迅速切除供热抽汽。

同时联动蝶阀快开,让抽汽快速改道进入低压

缸做功,将供热工况转为纯凝汽工况。

### 1.3 中压调节阀参与供热调节可靠性分析

中压供热抽汽从再热热段抽出,供热压力要求 4.2 Mpa;而设计中再热热段压力在纯凝 THA 工况下仅能达到 4 Mpa,抽汽后将会更低,因而必须有调节手段才能满足参数要求,为此,该工程采用了中压调节阀参与调节的方式实现该段可调供热。

中压调节阀原设计在启动及低负荷下参与调节,在高负荷下阀门开度增加,主要为整流作用。保持阀门稳定性良好的最根本措施是尽可能削弱汽流对阀碟和阀杆的激振。因此,在阀内设置整流滤网,合理设计滤网孔径分布及阀碟型线从而合理地组织阀内流道是改善阀门内部汽流流动有效的途径。

通过吹风试验和理论计算相结合的方法,不断优化阀门型线和结构,使阀门流量特性、提升力特性及稳定性达到了非常完美的程度。优化后在 80% 负荷以上,中调门在相对行程 5%~15% 以内时,对流量具有调节作用。同时在该区域内,流量变化较平缓,表明调节特性较好。调节曲线连续、光滑,表明该阀门全行程下的调节特性及操控特性良好,即中压调节阀参与压力调节的方式是可行的。

### 1.4 机组供热控制方案设计

#### 1.4.1 双抽供热机组描述

双抽机组由中压调节阀、连通管蝶阀、高中低压缸组成。

双抽机组有 2 个抽汽口,一个在中压缸下部排汽口处,靠连通管蝶阀控制低压抽汽压力。一个在再热器和中压调节阀之间,靠中压调节阀来控制中压抽汽压力。

#### 1.4.2 控制设计方案描述

(1) 汽轮机自动控制方式下的分调和牵连 2 种模式。

① 自动牵连:各被控量分别实行闭环控制,各阀之间按照相互影响关系发生联系。运行人员操作被控量完成对机组输出量的调整。

② 自动分调:各被控量分别实行闭环控制,各阀之间的控制信号没有联系。运行人员操作被控量给定值完成对机组输出量的调整。

(2) 手动控制方式下分调模式。当机组部分设备有缺陷时可选择手动分调方式,运行人员设置高压调节阀给定,设置中压调节阀给定,设置操作蝶阀给定来调整机组功率和抽汽压力。

## 2 供热系统设计特点

南京热电厂 2 台 600 MW 超临界双抽供热机组作为供热工业用汽汽源,供热介质为过热蒸汽。参

数分别为 4.2 MPa (a), 420 °C 和 1.0 MPa (a), 330 °C。每台 600 MW 超临界机组最大供热量为 300 t/h。热网补水由化学处理车间来,直接进入凝汽器除氧,不设低压除氧器。热网不考虑回水。

中、低压供热蒸汽分别从再热热段及四级抽汽上抽取。中压供热蒸汽从再热热段上引出,抽汽经过布置在汽机房毗屋运转层的减温器减温后接至 A 排外 4.2 MPa (a) 供热母管,单机额定供热量为 150 t/h。低压供热蒸汽从汽机中压缸排汽即四级抽汽上引出,管径 DN500,再接至 A 排外 1.0 MPa (a) 供热母管,单机额定供热量为 150 t/h。中压供热抽汽利用中压进汽调节阀整定供热压力,经减温后向热用户供汽;低压供热抽汽采用供热蝶阀控制整定供热压力,供热蝶阀布置在汽轮机中、低压连通管上。在中低压供热抽汽管道还装有液动逆止阀、电动快关调节阀、电动隔断阀,以及作为超压保护用的安全阀。在蒸汽管道上另外设有流量测量装置,便于计量供热蒸汽量。

中压供热原则性热力系统如图 1 所示。低压供热原则性热力系统如图 2 所示。

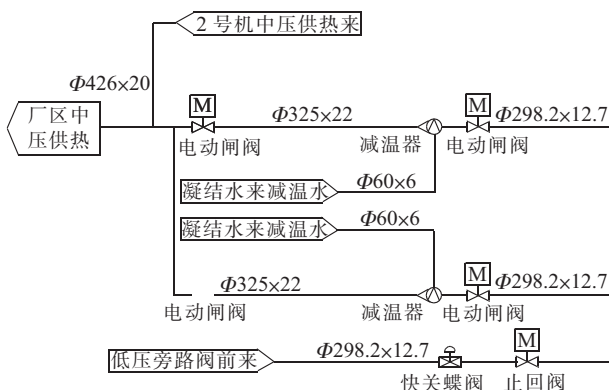


图 1 中压供热原则性热力系统

为提高供热系统的可靠性,该工程供热母管与邻近的华能南京电厂供热母管联通,供热互为备用。由于 2 个电厂供热参数不同,2 个厂供热系统联通

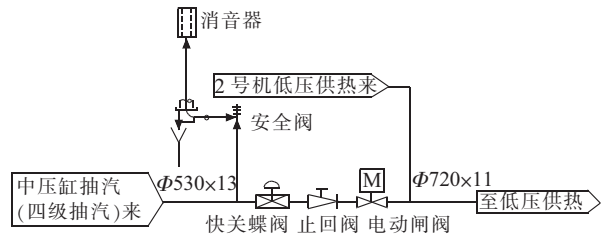


图 2 低压供热原则性热力系统

的设计方案如下:该工程的中压汽源减温减压后作为华能南京电厂的供热备用汽源(约 1.5 MPa);而华能南京电厂供热汽源减温减压后作为该工程低压汽源的备用汽源。

南京热电厂供热系统的设计满足以上要求,目前机组已经投运,实践证明是安全可靠的。

### 3 结束语

南京热电厂 600 MW 超临界双抽供热机组,在纯凝工况下发电厂热效率为 44.26%,对应发电标准煤耗率 277.5 g/(kW·h);在额定供热工况下发电厂热效率为 57.47%,对应发电标准煤耗率仅为 260.5 g/(kW·h)。该工程性能指标远优于同类纯凝机组,甚至也优于 1 000 MW 超超临界机组,具有良好的经济效益及社会效益。

目前,300 MW 级供热汽轮机为国内热电厂的主流机型,而效率更高的 600 MW 超临界双抽供热汽轮机很少见,该机型在南京热电厂的成功应用,将大大拓宽热电厂供热机型的选择范围。

#### 参考文献:

- [1] 康松,杨建明,胥建群.汽轮机原理[M].北京:中国电力出版社,2000.

#### 作者简介:

邱云峰(1979),男,江苏姜堰人,工程师,从事电厂设计咨询工作。

## Design Features of 600 MW Supercritical Pressure Double Extraction Turbine and Extraction System in Nanjing Thermal Power Plant

QIU Yun-feng

(Jiangsu Electrical Design Institute, Nanjing 211102, China)

**Abstract:** Supercritical double extraction steam turbine is utilized in 600 MW power plant of Nanjing Thermal Power Generation Company. This type of steam turbines has rarely been adopted in China. The design features of 600 MW supercritical heat supply steam turbine are introduced in this paper, and analysis on reliability of the steam turbine as well as the design scheme and control strategy has also been carried out. Since better economic and social benefits can be achieved using 600 MW supercritical double extraction turbine, it is believed that this type of steam turbine can serve as a valuable alternative.

**Key words:** 600 MW; supercritical; double extraction turbine; heat supply system