

江苏省内在役 1 000 MW 汽轮机的特点与运行问题

姚永灵, 徐斌

(江苏方天电力技术有限公司, 江苏南京 211102)

摘要:围绕江苏省内投产的两类 1 000 MW 超超临界汽轮机,在介绍主要结构特点和性能设计参数差异的基础上,定性分析了引起机组热力性能偏离设计参数的主要因素,对新建 1 000 MW 超超临界火电机组的汽轮机选型以及在役机组运行或改造有一定参考作用。

关键词:超超临界;汽轮机;热力性能

中图分类号:TK263

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2013)03-0069-03

随着 2006 年 11 月 28 日华能玉环电厂 1 号机组及同年 12 月 4 日华电国际邹县发电厂 7 号机组 2 台国产 1 000 MW 超超临界机组的相继投产,国内 1 000 MW 机组进入了快速发展时期。由于采用了较高的初参数,提高了蒸汽循环效率,再加上一些新技术的应用,超超临界机组经济性得到了大幅提高。1 000 MW 超超临界机组比目前的主力机组 600 MW 超临界机组煤耗降低约 15 g/(kW·h),比 300 MW 亚临界机组降低的煤耗更是在 20 g/(kW·h)以上,因此,越来越多大容量高参数的 1 000 MW 超超临界机组投产,必将大大提高火电机组整体经济性,减少发电厂二氧化碳和污染物的排放。

1 设计参数

我国三大汽轮机制造厂都采取了与国外公司合作的方式来发展超超临界汽轮机的技术路线,上海汽轮机有限公司、哈尔滨汽轮机有限公司和东方汽轮机有限公司分别与西门子公司、东芝公司和日立公司合作,生产了各自的 1 000 MW 超超临界汽轮机。从整体来看,3 种机型都采用了单轴、一次中间再热、四缸四排汽、双背压、凝汽式、八级回热抽汽的方式,高压缸采用单流式,中压缸都是对称双流式,都有 2 个双流低压缸。3 种机型的主要技术数据如表 1 所示。

东汽、哈汽机组为冲动式。上汽机组为反动式,高、中压缸级数较多。从蒸汽参数来看,2 种机型都采用了 600 °C 的主再热蒸汽温度,东汽、哈汽机组的主汽压力都为 25 MPa,而上汽机组的主汽压力较高,达到 26.25 MPa,而且该机型的主汽压力还有再提高的空间,这与其独特的高压缸结构有关。3 种机组的设计热耗都达到了相当好的水平,相对而言,上汽机组由于更高的主汽压力及其独特的结构,设计的热力性能更好一些,其设计热耗达 7 319 kJ/kW·h,比哈汽机组的设计热耗低了 0.6%。

表 1 3 种机组主要技术数据

项目	上汽-西门子公司	哈汽-东芝机组	东汽-日立机组
型号	N1000-26.25/600/600	N1000-25/600/600	
高压缸级数	13 压力级	双流调节级+9 压力级	双流调节级+8 压力级
中压缸级数	2×13 级	2×7 级	2×6 级
低压缸级数	2×2×6 级	2×2×6 级	2×2×6 级
末级叶片高度/mm	1 146	1 219	1 092
排汽面积/m ²	4×10.96	4×11.87	4×10.11
背压(平均)/kPa	4.9	4.9	4.9
高压缸效率/%	91.06	90.15	87.18
中压缸效率/%	93.27	94.54	92.29
低压缸效率/%	89.15	89.20	92.57
保证热耗率/[kJ·(kW·h) ⁻¹]	7 319	7 366	7 354

江苏省自 2007 年 12 月 4 日第一台投产到目前为止,已经有 10 台 1 000 MW 超超临界机组投产,其中 2 台是哈汽-东芝机组,其他都是上汽-西门子公司,目前正在建设中的 6 台 1 000 MW 机组也是上汽-西门子公司。

2 结构特点

文中讨论省内已投产的哈汽-东芝和上汽-西门子公司 1 000 MW 超超临界机组影响热力性能的几个主要结构特点。

2.1 高压缸

哈汽机组高压缸内外缸都采用了传统水平中分面形式^[1]。上汽机组采用无中分面的圆筒型高压缸,高压外缸为轴向对分筒形结构,内缸为对剖垂直中分面筒形结构。圆筒型高压缸以紧凑的轴向法兰连接,有很高的承压能力,可承受更高的压力和温度。哈汽机组还是传统的 4 个调门,通过导汽管与高压缸相连。而上汽机组只有 2 个主汽调门并直接和汽缸相连,无导汽管,结构紧凑,流动损失大大减小。

对于大容量超超临界机组,调节级应力是影响机组结构设计和热力性能的关键因素^[2]。哈汽机组采用喷嘴调节方式,为了保证调节级叶片在部分进汽情况下有足够的强度,不得不使用双流调节级结构(如图1所示),主汽通过4个高压调门分2路逆流进入调节级,其中一路调节级后蒸汽通过180°转向后进入压力级。相对于全周进汽方式,双调节级喷嘴调节方式的特点是在低负荷时保持额定进汽压力,有利于提高循环效率;其不足是部分进汽损失以及汽流转向引起的调节级效率较低。

上汽机组采用全周进汽加补汽阀方式,高压第一级采用斜置静叶、切向进汽(如图2所示),结构紧凑、损失小。全周进汽滑压运行,无效率相对较低的调节级,有利于提高汽轮机效率。

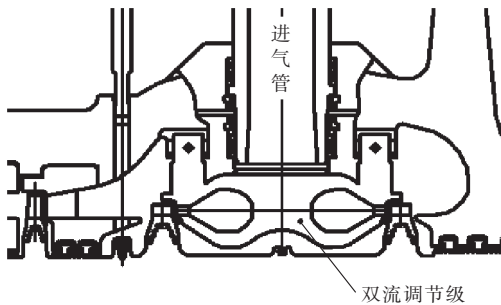


图1 哈汽-东芝机组调节级

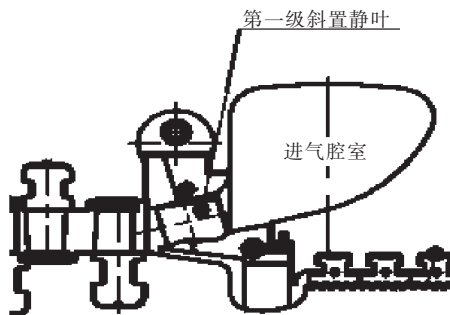


图2 上汽-西门子机组第一级

上汽机组的高压缸由于其独特的圆筒型汽缸、阀门配置和配汽方式,在效率上有明显优势。而哈汽机组由于缸体结构和调节级应力的限制,机组设计主汽压力为25 MPa,在超超临界机组中是比较低的,另外调门压损较大等因素对循环效率有一定影响。

2.2 中压缸

与高压缸类似,哈汽机组再热主汽门通过导汽管与汽缸连接,而上汽机组2个再热主调门直接和汽缸相连,有利于减少阻力。上汽机组中压第一级也是斜置静叶、切向进汽。虽然2种机型都采用双流中压缸,但排汽管结构有所区别。哈汽机组中压缸有2个排汽口分别与连通管相连。上汽机组中压缸则只有1个排汽口布置在汽缸中间顶部,与连通管相连。这样的布置使中低压连通管结构紧凑顺畅,有利于减少排汽阻力。

这2种机型中压缸最大区别体现在对中压转子的冷却方式上。为降低中压进汽前几级的温度,必须设计中压转子的冷却蒸汽系统,哈汽机组冷却蒸汽来自高压调节级后的节流蒸汽,通过冷却蒸汽管进入中压汽轮机,利用菌型叶根与叶轮的预留间隙流动,冷却中压前2级叶根。上汽机组对中压转子的冷却方式比较独特,在中压缸进口有4个切向进汽孔,将蒸汽引入进汽室与转子之间并加速形成涡流,蒸汽能量转换为动能后,温度可下降15℃左右,起到冷却中压转子的作用。

2.3 低压缸

无论冲动式还是反动式汽轮机,低压缸部分结构基本相近。2种机型都采用了2个双流低压缸,共4个流程,每个流程都包含6级。

哈汽机组的48英寸末级叶片高度达到了传统叶片材料的极限长度,是目前最长的汽轮机叶片,排汽面积比上汽机组大8.3%。更大的排汽面积有利于降低余速损失,提高汽轮机整体效率。

3 实际热力性能及存在的问题

国内已经投产的1000 MW超超临界汽轮机都进行了性能考核,从试验结果来看,各种机型都达到了制造厂的热耗保证值。考虑到考核试验考核的是汽轮机本体,热力系统一般不在考核范围之内,考核的边界条件较多而且比较严格,导致试验结果修正项目较多和修正量较大,再加上进行考核试验时汽轮机都处于刚投产时新的状态或者考虑了老化修正,这些因素导致考核试验结果并不一定能全面反应整个汽轮机的实际性能,尤其不能反应经过一段时间运行后处于相对稳定状态下汽轮机的实际性能。

省内哈汽1000 MW机组投产已有4年,上汽机组投产也有近3年的时间,这些机组陆续进行了多次的性能试验,通过对各1000 MW机组历次性能试验以及运行统计情况分析,目前1000 MW机组实际的热耗水平在7450~7600 kJ/(kW·h),与热耗设计值之间有一定差距,一方面是汽轮机本体性能下降,另一方面是热力系统的状态造成的。在机组运行及性能试验过程中,发现如下几个问题。

3.1 主汽调门压损问题

哈汽机组采用传统的喷嘴调节方式,除了部分进汽损失,还存在调门节流损失,试验发现该机组调门即使在全开状态下节流压损也较大,影响了高压缸实际运行效率,该机组实测高压缸效率在87%左右。

上汽厂机组采用无调节级方式,全周进汽,没有部分进汽损失,而且调门节流损失也达到最小,在阀门全开状态下,高压缸试验效率可以达到91%。该机组高压缸设计了1个补汽阀,其作用是在夏季高背压情况

下保证机组出力,实际运行情况表明 2 个主调门基本能满足出力的要求,夏季满负荷一般也无需开补汽阀。但是,为了满足电网调频的要求,实际运行时机组调门并没有处于全开状态,而是处于节流状态(保留 5%左右的流量裕量)以提高机组负荷响应能力,这种运行状态实际上削弱了该机组全周进汽设计在经济性方面的优越性,导致高压缸效率降低 1%左右。

对于上汽机组而言,如何在满足电网调频要求的前提下尽可能使调门节流损失降到最低,充分发挥其设计上的优势,是值得研究的课题。

3.2 汽封漏汽偏大问题

汽轮机动静间隙之间漏汽量对汽轮机效率影响很大。抽汽温度相对于设计值的偏高程度可以比较直观反映缸内汽封漏汽情况。因为汽轮机动静间隙逐步变大难以避免,所以抽汽温度偏高是普遍存在的现象。相对而言哈汽机组抽汽温度偏高比较明显,特别是低压缸的第 5 级和第 6 级抽汽,严重时超温达 30℃多。其原因可能是该低压缸容易变形,导致动静间隙变大,而且很难消除。另外,汽封的形式和性能也是影响因素。与汽缸内汽封漏汽类似,轴端汽封漏汽量也存在偏大的问题。如曾经在性能试验中测量上汽机组高压缸轴封去中压缸排汽口的漏汽量,比设计值大了近 1 倍。

解决汽封漏汽偏大问题,有些可以通过更换性能更好的汽封或在检修过程中调整汽封间隙来解决。但对于汽缸变形等因素导致的漏汽量偏大则较难解决,需要对汽缸结构进行改进。

3.3 冷却蒸汽量问题

哈汽机组中压转子的冷却采用了传统的从高压缸调节级后引入较低温蒸汽的方法,其流量是通过节流

孔和阀门控制的,但实际上该流量很难合理控制,导致该流量大大高于设计值,在某次试验中应用间接测量的方法对该流量进行了测量,结果是达到了 54 t/h,而设计流量只有不到 20 t/h,过大的冷却蒸汽绕过高压缸直接进入中压缸,将大大影响机组的经济性。

3.4 热力系统问题

除了汽轮机本体的性能,影响机组性能的另一个重要因素是与之配套的热力系统运行状态的好坏。如回热加热器性能、凝汽器性能等等。在实际生产中普遍存在的是系统工质泄漏问题,系统泄漏包括内漏和外漏,需要重视各种疏水管路、蒸汽旁路等容易发生泄漏部位的维护,提高机组运行的经济性。

4 结束语

超超临界 1 000 MW 汽轮机的投产,使我国火力发电机组的运行效率达到了一个更高的水平。不同制造厂的产品有各自的设计风格 and 机构特点,在生产过程中也表现出不同的优势和问题,应根据机组本身特点,优化运行方式,消除缺陷,提高机组运行的经济性。

参考文献:

- [1] 何阿平,彭泽瑛.1 000 MW 超超临界汽轮机的技术优势与结构特点[J].上海电力,2005(4):337-341.
- [2] 朱宝田.三种超超临界 1 000 MW 汽轮机简介[C].中国超超临界火电机组技术协作网第二届年会,2006.

作者简介:

姚永灵(1974),男,江苏苏州人,高级工程师,从事汽轮机性能测试及技术监督工作;

徐斌(1983),男,江苏江都人,助理工程师,从事汽轮机性能测试及技术监督工作。

Characteristics and Operation Issues of 1 000 MW Steam Turbines within Jiangsu Province

YAO Yong-ling, XU Bin

(Jiangsu Frontier Electric Technology Co. Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: Two types of 1 000 MW ultra-supercritical steam turbines installed within Jiangsu Province are analyzed in this paper. The differences between the structural features and performance design parameters of these two types of steam turbines are introduced firstly, and then the root reasons leading to the deviation between the actual performance and initial design parameters are analyzed qualitatively. This paper can provide valuable reference for the type-selection of steam turbines as well as the operation and reform of power units in service.

Key words: ultra-supercritical; steam turbine; thermodynamic performance

反转 180 度

在一家建筑设计所里,有一位最受客户欢迎的设计师,他每年的业绩令同行大为羡慕。同行纷纷向他取经,这位设计师说:“我受欢迎并不是因为我比别人更有才华,客户喜欢我是为了另一个原因。我只是在和客户交流的时候,把设计图的正面朝着客户的方向摆放。而你们却往往在他们面前只顾炫耀自己的技巧,给客户所看的是倒裁葱的设计图,他们听着深奥的专业术语,越看越糊涂,只能望而却步了。”