

再热汽轮机性能试验系统修正方法研究

张才稳, 黄海舟

(湖北省电力试验研究院 汽机室, 湖北 武汉 430077)

摘 要: 依据《ASME PTC6—1996 汽轮机性能试验规程》, 深入研究了再热汽轮机性能试验系统修正计算的两种方法, 给出了两种计算方法的实现过程, 分析了两种计算方法的差别。通过一个算例考察了两种计算方法对计算结果的影响, 在此基础上推荐了一种修正计算方法。

关 键 词: 汽轮机; 性能试验; 计算

中图分类号: TK262 文献标识码: A

1 概 述

汽轮机性能考核有多种试验规程, 在我国广泛使用的是美国机械工程师学会的《汽轮机性能试验规程》(ASME PTC6—1996), 规程第 5 章是关于试验结果的计算。大体说来, 试验结果的计算分为两部分。第 1 部分是试验结果的计算, 在发电机的电功率已经测定的情况下, 计算试验热耗、缸效率。第 2 部分是试验结果的修正, 具体又分为第 1 组修正和第 2 组修正。第 1 组修正又称系统修正, 主要是给水加热系统的修正, 将试验循环修正到规定的循环。用汽轮机的试验效率在规定的工况下计算出一个“修正的试验”——保持汽轮机主汽流量不变以及热力系统符合设计规定条件下, 修正汽轮发电机的功率。第 2 组修正是参数修正, 可用图表或曲线进行。第 1 组修正同第 2 组修正是相互联系的, 本文将对第 1 组修正——系统修正的算法进行重点研究。

在 PTC6—1996 相关的条款对第 1 组修正做了规定。关于系统修正的范围, 规程要求: 给水流量等于主蒸汽流量、系统储水量无变化、抽汽管道压损等于设计值、加热器进水、出水端差等于设计值、系统没有外界流入、流出流量、凝结水过冷度等于设计值, 凝泵、给泵焓升等于设计值。

在采用上述条件计算后, 抽汽量和再热减温水的流量将会发生变化, 因此汽轮机级组内压力将会发生变化, 引起加热器中压力和进水、出水温度、疏水温度的改变。抽汽焓也随抽汽压力改变。这些变

化一般采用“误差试算法”来修正蒸汽流量, 直到各抽汽压力与前一次相比变化全部小于 1.0% 或 7.0 kPa, 然后用修正后的抽汽量来确定排汽量, 并由曲线读出相应的排汽损失。

对再热汽轮机来说, 可能会由于减温水和高压抽汽流量的修正而造成再热蒸汽流量的明显变化, 从而在再热截止阀处产生一个新的压力, 如果出现这种情况, 可采用下列方法中的一个来求得修正后的再热焓(见文献[1]中 5.11.3):

(1) 再热蒸汽的温度和焓的修正值, 可按照新的再热截止阀处的压力值, 由试验膨胀过程线内插或外推获取;

(2) 修正后的再热焓值可从新的膨胀线读出。这条新的膨胀线是根据新的再热截止阀处新的再热压力、试验再热温度以及试验汽轮机内效率绘制的。在这种情况下, 排汽焓可用修正后的新膨胀线加上修正后的排汽损失求得。这个膨胀终点由再热截止阀处新的再热压力、试验再热温度、试验排汽压力和试验汽轮机内效率确定。必须用修正后的再热蒸汽焓来计算规定循环下运行的发电机出力。

方法(1)和方法(2)区别本质在于修正计算中采用不同的膨胀过程线。方法(1)在修正过程中采用试验膨胀过程线; 方法(2)是新的膨胀过程线。修正方法的选择将引起各段抽汽焓计算的差异以及参数修正方法的不同, 从而形成了两种不同的系统修正方法。对应地本文将其称为第(1)种算法和第(2)种算法。

在系统修正后, 进行参数修正时要注意的是在进行再热温度和再热压降修正时, 再热温度和再热压降的修正系数必须是修正后的值而不是试验值。这里由不同的系统修正方法所带来的差别是再热温度, 第(1)种算法再热蒸汽修正后的温度会发生改变, 膨胀线终点(ELEP)不变; 第(2)种算法再热温度不变, 膨胀线终点(ELEP)会发生变化。

2 两种系统修正算法的实现

2.1 第(1)种算法的实现

高压部分的计算同无再热的纯凝汽式机组的计算相同,区别从再热蒸汽焓的确定开始。在第(1)种算法中,修正计算采用的膨胀线就是试验膨胀线,再热焓用新的再热压力由试验膨胀线外推或内插读取。再热后各级抽汽焓的确定方法类似。这个计算过程在焓熵图上可以实现,因为在焓熵图上作延长线和试验膨胀线的平行线都是可行的。PIC6第5a章中的算例就是这样解释的。但在用计算机进行修正计算时,却比较困难。因为水蒸气的热物性关于温度、压力不是线性函数。因而试验膨胀线的延长、试验膨胀线的平行线等在计算机内实现时,是根据各级段的效率不变这一假设来实现。

在第(1)种算法中,由于膨胀线的终点不变,因此可以自此处由低到高开始系统修正计算。在第一轮系统修正时,各段抽汽口的压力都有变化。末级抽汽的压力也发生了变化,如何确定修正后的末级抽汽口的焓,这里仍假设从未级抽汽口到膨胀终点级段的效率不变,只要确定温度、比容、熵等任何两个参数,就可以求出末级抽汽口的焓。由于水蒸气热物性的非线性,不能用方程直接求解。这里需要一个迭代过程。在后面从未级抽汽到末二级抽汽一直到再热蒸汽的计算过程中,每一级段的计算都要通过迭代进行。在确定了各段抽汽的参数以后,可以依据抽汽压损等于设计值,端差等于设计值等条件开始下一轮计算。

2.2 第(2)种算法的实现

第(2)种算法给出的限定条件是再热截止阀处新的再热压力、试验再热温度、试验排汽压力和试验汽轮机内效率不变。根据这些限定条件,可以作出一条新的膨胀过程线。新的再热压力(修正后的再热压力)、试验再热温度可以确定再热蒸汽的状态。修正后的再热后第一级抽汽的压力在上一轮系统修正过程中已经计算得出,由此可以确定再热新蒸汽至再热后第一级抽汽的理想焓降。由于修正过程中保持效率不变,依此可以计算出再热新蒸汽至再热后第一级抽汽的实际焓降。据此也就计算出了再热后第一级抽汽的焓,及温度等其他热物性参数。类似的步骤,一直计算到低压缸的排汽口,低压膨胀终点(ELEP)会发生改变。此一轮修正计算结束。在这种系统修正的算法中,膨胀终点以及排汽损失都

发生了变化。在随后进行的参数修正中,再热蒸汽的温度用试验蒸汽温度进行修正。

以上两种算法中,如果计算的结果符合抽汽压力与前一次相比变化全部小于1.0%或7.0kPa的要求,系统修正就算结束。

3 算 例

算例中的汽轮机系统是300MW双缸双排汽、中间再热凝汽式机组。回热系统配置为三高、四低一除氧。高压缸两段抽汽,蒸汽经再热后有六段抽汽。为节省篇幅,表中只列出第(1)种和第(2)种修正方法计算得出的重要参数。

表 1

	第(1)种 修正方法	第(2)种 修正方法
主蒸汽压力/MPa	16.401	16.401
主蒸汽温度/℃	537.462	537.462
主蒸汽流量/t·h ⁻¹	1028.541	1028.541
再热压力/MPa	3.648	3.660
热再热温度/℃	532.776	539.127
热再热流量/t·h ⁻¹	833.997	834.236
一段抽汽流量/t·h ⁻¹	59.565	59.565
一段抽汽焓/kJ·kg ⁻¹	3167.670	3167.680
二段抽汽流量/t·h ⁻¹	94.411	94.172
二段抽汽焓/kJ·kg ⁻¹	3065.731	3065.731
三段抽汽流量/t·h ⁻¹	36.376	35.260
三段抽汽焓/kJ·kg ⁻¹	3340.238	3352.558
四段抽汽流量/t·h ⁻¹	54.931	54.825
四段抽汽焓/kJ·kg ⁻¹	3121.087	3129.406
五段抽汽流量/t·h ⁻¹	27.455	27.361
五段抽汽焓/kJ·kg ⁻¹	3092.654	3103.145
六段抽汽流量/t·h ⁻¹	25.977	25.928
六段抽汽焓/kJ·kg ⁻¹	2940.774	2939.740
七段抽汽流量/t·h ⁻¹	24.921	24.903
七段抽汽焓/kJ·kg ⁻¹	2849.525	2857.610
八段抽汽流量/t·h ⁻¹	50.050	49.973
八段抽汽焓/kJ·kg ⁻¹	2730.401	2737.216
低缸排汽流量/t·h ⁻¹	624.229	624.926
低缸膨胀终点焓ELEP/kJ·kg ⁻¹	2450.088	2455.495
低缸排汽焓/kJ·kg ⁻¹	2472.961	2478.536
高缸效率/%	83.581	83.581
中缸效率/%	88.084	88.562
低缸效率/%	81.426	81.350
系统修正后热耗/kJ·(kWh) ⁻¹	8726.964	8711.547
参数修正后热耗/kJ·(kWh) ⁻¹	8510.779	8511.619

分析表1,采用第(1)种修正方法的各段抽汽离开系统的流量、热量有细微变化。高压缸的效率不变,中压缸的效率、低压缸的效率理论上不应改变,实际计算过程中有细微的变化,在可以接受的范围内。系统修正后第(2)种算法的热耗稍低,经过参数修正后,热耗几乎一致。计算过程和结论对规程及文献[1]中5.11.3也进行了实际的验证。

不同进风结构煤粉燃烧器冷态流场实验研究

蒋利桥, 陈恩鉴, 阎常峰

(中国科学院广州能源研究所, 广东 广州 510070)

摘 要: 对采用切向和端面旋流进风结构的煤粉燃烧器进行了冷态流场特性实验研究, 实验结果表明采用端面旋流进风结构的煤粉燃烧器流场轴向速度分布对称性、均匀性大大加强, 而一二次风合为一般端面旋流进入比单独从轴向进一次风对流场的合理分布更加有利。

关 键 词: 燃烧器; 旋流; 叶片; 五孔探针

中图分类号: TK223.23 文献标识码: A

1 前 言

我国工业窑炉数量众多, 大部分以煤为主要燃料, 普遍存在热效率低、运行条件差和烟尘排放高等问题。基于旋风燃烧技术的液排渣燃烧器能提供含尘量极低的洁净火焰, 因而可对燃煤工业窑炉进行技术改造以及对燃油工业窑炉进行以煤代油改造, 是解决燃油锅炉的运行成本高和燃煤工业窑炉烟尘污染严重等问题的有效途径之一。因此, 其应用前景广阔。液排渣燃烧器的进风方式对其内部流场分布的影响非常大, 进而影响煤粉燃烧状况和灰渣的捕集。所以, 合理的流场分布对于燃烧器性能起着决定性的作用^[1-3]。本文对采用切向进风方式和端面旋流进风结构的煤粉燃烧器冷态流场分布进行测试, 同时还对一次风的进风方式给燃烧器内流场分布造成的影响进行实验研究。

收稿日期: 2002-08-12; 修订日期: 2002-09-16

基金项目: 广东省科技计划基金资助项目(2002B30803)

作者简介: 蒋利桥(1974-), 男, 湖南邵东人, 中国科学院广州能源研究所硕士。

4 结 论

通过上述的分析和计算, 可以得出如下的结论: 采用第(1)种和第2种系统修正方法计算, 得出的试验结果是相同的; 第(2)种修正方法在计算抽汽焓的过程中不需要迭代过程, 计算过程简明, 而且可以降低编程难度, 提高计算效率; 不同的修正方法, 计算

2 冷态实验装置及测试原理

实验装置如图1所示, 燃烧器基本模型由有机玻璃制成, 卧式布置。燃烧筒内径 $D=400$ mm, 长 $L=600$ mm, 出口直径为 200 mm, 进口叶片节圆直径为 360 mm。实验时, 叶片与燃烧器轴线倾角和二次风流量保持不变。利用五孔探针测量三维速度场原理^[4], 由五孔探针感受测点压力信号, 经过压力传感器、A/D、D/A 转换器、放大器、数据采集板, 最后通过计算程序处理, 将三维速度分解并存入数据文件。

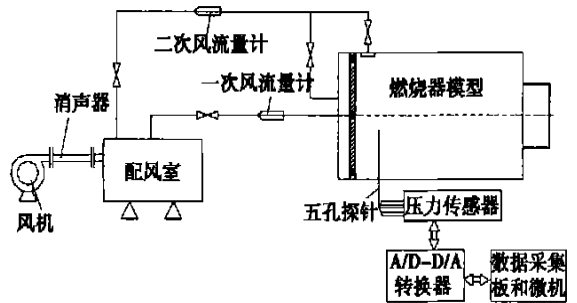


图1 燃烧器冷态模型及实验系统

3 燃烧器进风结构

出的缸效率有细微差别, 如果连带缸效率一起考核, 则需要明确系统修正所采用的方法。

参考文献:

- [1] ASME PTC6-1996 汽轮机性能试验规程[S].
- [2] 翦天聪. 汽轮机原理[M]. 北京: 水利电力出版社, 1992.
- [3] 西安热工研究所. 汽轮机热力试验[M]. 北京: 电力工业出版社, 1982.

(何静芳 编辑)

with those of experimental correlation. Meanwhile, this also shows that the large eddy simulation method is especially effective in capturing temperature fields and the time evolution process of flow field eddy series and very suitable for the analysis of temperature fields involving the flow movement of large eddies. **Key words:** gas sweeping across a single tube, forced convection, large eddy simulation

基于遗传算法的汽轮机 DEH 控制系统的参数优化研究 = A Study on the Parameter Optimization of a Digital Electro-hydraulic (DEH) Control System for a Genetic Algorithm-based Steam Turbine [刊, 汉] / DAI Yi-ping, LIU Zhao (Turbomachinery Research Institute under the Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049), LIU Jiong (Dongfang Steam Turbine Works, Deyang Sichuan Province, China, Post Code: 618000) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18 (3). — 263 ~ 266

After an explanation of the basic theory of genetic algorithm the latter is used for the parameter optimization of the PID (proportional-integral-differential) governor of a steam turbine DEH (digital electro-hydraulic) control system. The dynamic characteristics of the system after parameter optimization are compared with those of a system, which has undergone an adjustment by a conventional method. The results of comparison indicate that the improved genetic algorithm offers the merit of high convergence speed and the acquisition of global optimization. After being optimized the control system will enjoy better dynamic response characteristics. The genetic algorithm can be advantageously employed for the parameter optimization of the governor of a steam turbine DEH control system. **Key words:** genetic algorithm, parameter optimization, steam turbine, digital electro-hydraulic control system

再热汽轮机性能试验系统修正方法研究 = Investigation of a Method for Correcting the Performance Test System of a Reheat Steam Turbine [刊, 汉] / ZHANG Cai-wen, HUANG Hai-zhou (Steam Turbine Department, Hubei Provincial Electric Power Testing Institute, Wuhan, China, Post Code: 430077) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18 (3). — 267 ~ 269

An in-depth investigation was conducted of two kinds of revision calculation for the performance test system of a reheat steam turbine on the basis of "ASME PTC6-1996 Steam Turbine Performance Test Rules and Regulations". The process for realizing two kinds of calculation method is presented with their difference being analyzed. Moreover, through a calculation example the effect of these two calculation methods on the results of calculation is investigated, on the basis of which a revision calculation method is recommended. **Key words:** steam turbine, performance test, calculation

不同进风结构下煤粉燃烧器冷态流场实验研究 = An Experimental Study of the Cold-state Flow Field of a Pulverized-coal Burner under Different Air-entry Versions [刊, 汉] / JIANG Li-qiao, CHEN En-jian, YAN Chang-feng (Guangzhou Energy Source Research Institute under the China Academy of Sciences, Guangzhou, China, Post Code: 510070) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18 (3). — 269 ~ 271

An experimental study was conducted of the cold-state flow field characteristics of a pulverized-coal burner under two different air-entry versions, namely, air tangential entry and end-face air prewhirl entry. Test results indicate that the end-face prewhirl entry of air can lead to a considerably enhanced symmetry and uniformity of axial-speed distribution of the burner flow field. Furthermore, from the perspective of flow field distribution the integration of primary and secondary air into one stream of end-face prewhirl flow entry will be more contributive to the rational distribution of flow field than in the case of single axial entry of primary air. **Key words:** swirl flow, blade, five-hole probe

注蒸汽对涡轮增压器的影响 = The Influence of Steam Injection on a Turbocharger [刊, 汉] / LU Ben, WEN Xue-you (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036), XIA Jun-sheng (Hebei Jiteng Paper