

大港电厂 328 MW 汽轮机凝汽器数值模拟与特性分析

朱光宇 李红梅

(西安交通大学热力叶轮机机械研究所)

唐 明

(哈尔滨七〇三研究所)

[摘要] 采用数值方法对大港电厂从意大利引进的 328 MW 汽轮机凝汽器壳侧的流动与传热过程进行了计算,对该凝汽器的设计合理性进行了分析。结果表明,该凝汽器的管束布置具有一定的合理性,但也有需改进之处,凝汽器的工作压力可能会因此而略高于设计压力。

关键词 汽轮机 凝汽器 汽相 流动传热 数值分析

中图分类号 TK264.11,262

0 前言

众所周知,汽轮机凝汽器性能的好坏对汽轮机装置的运行经济性和安全性有重要影响,凝汽器的性能又在很大程度上取决于管束布置。为了改进管束布置设计手段,近年来,国外普遍开展了凝汽器壳侧汽相流场和传热过程的数值模拟研究^[1,2],国内西安交通大学在这方面也取得一定的进展^[3]。本文对从意大利引进、安装在大港电厂的 328 MW 汽轮机凝汽器壳侧的流体动力特性和传热特性进行详尽的计算分析,以促进对国外大型电站设备的引进优化工作,并为运行管理提供必要的参考。

1 物理模型与计算方法概述

通过简化,我们得到描述凝汽器壳侧的汽—液两相流动的控制方程组,包括连续性方程、动量方程和空气组分守恒方程。在 $X-Y$ 直角坐标中,这些方程可统一地表示为:

$$\frac{\partial}{\partial x}(X_{lv}H) + \frac{\partial}{\partial y}(X_{lv}H) = \frac{\partial}{\partial x}(X_H \frac{\partial H}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(X_H \frac{\partial H}{\partial x}) + S_H \quad (1)$$

式中各变量所代表的意义详见文献^[3]。采用控制容积积分法对控制方程组进行离散,然后用 SIM PLE 方法求解离散化方程组,即可得出凝汽器壳侧汽相流场各参数的分布。文献^[3]曾用一台 200 MW 凝汽器的实测传热数据对这套方法进行过校核,证明了方法和程序的有效性。

2 计算结果及分析

2.1 凝汽器概况

采用上述方法对从意大利引进、安装在大港电厂的 328 MW 汽轮机凝汽器壳侧的流场进行了计算。该凝汽器为一单壳、单压、单流程的凝汽器,其主要设计参数汇总在表 1 中。管束模块的几何形状如图 1 所示。

2.2 计算结果及分析

计算时,对于随排汽进入凝汽器的空气

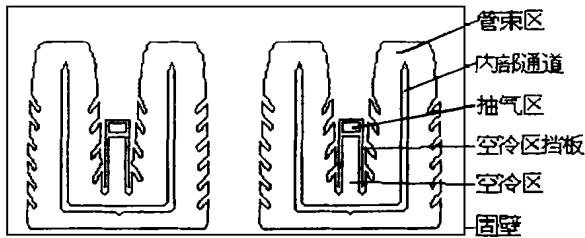


图 1 凝汽器管束布置示意图

量,按照 HEI标准进行了估计。初步的计算表明,在给定的工作条件下,该凝汽器所配的抽气器难以维持设计真空。因此,凝汽器的实际工作压力可能要高于 4.9 kPa。若估计抽气器的容量为 70 kg/h 左右,经计算,凝汽器的设计工作压力可能要达到 5.5 kPa 左右。在此压力下,凝汽器壳侧汽—气混合物的速度分布、空气浓度分布、传热系数分布以及压力和温度分布将分别如图 2~6 所示(由于对称的原因,图中仅绘出了各参数在凝汽器左半部分的分布情况)。

表 1 凝汽器的设计参数

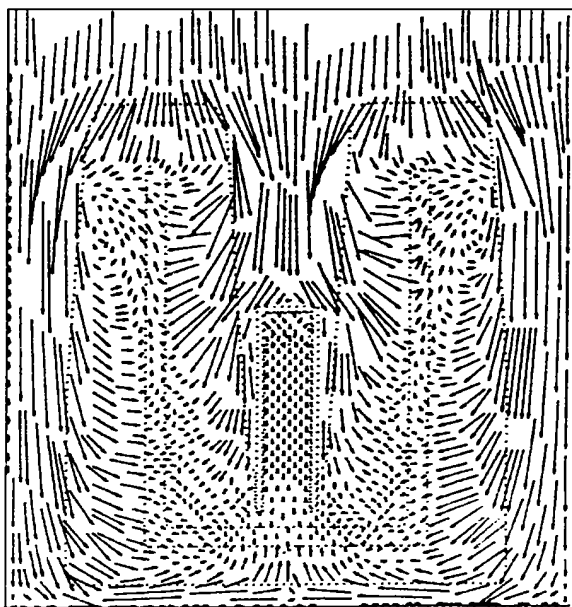
压力 kPa	4.9	汽轮机排 汽量 t/h	630
冷却水 温(°C)	20	冷却管规 格 mm	Φ25.4×1.24
冷却管 数(根)	17150	冷却管有 效长度 mm	11000
冷却水 流速 (m/s)	1.9	外形尺寸 mm	16400×8700 ×10810

由图 2 可见,进入凝汽器的蒸汽除少部分直接从顶部进入管束外,绝大部分以较高的速度沿两侧和中间通道流向管束四周并从管束四周进入管束。从管束外围到核心,随着蒸汽的凝结汽流速度逐渐降低,在空冷区内速度最低。管束外围蒸汽流速均不超过 50 m/s,中心及空冷区入口处的流速约 13 m/s。该分布表明,预期的设计目的基本上还是达到了,但并不是完全理想的。从图上可以很明显的看出管束上部靠近两侧通道附近以及中下

部靠近空冷区挡板附近分别存在着范围不小的旋涡区,使已经进入狭长中心区通道的高含气率的混合气体向着旋涡区回流,这与设计中预想的汽流分别从管束四周均匀地进入管束凝结,剩余部分再沿着中心区狭长通道顺畅地进入空冷区的意图有一定的偏离。

图 3 与图 2 具有明显的对应关系。总的来说,空气浓度自管束外围到核心而后至空冷区逐渐增大的趋势是正常的。但是,浓度等值线谱并不完全围绕中心区空气通道规则分布,而是与后者有一定的交错。在主凝结区的大部分区域内空气浓度小于 1%;但在存在流动旋涡的区域内,空气浓度要高于 1%,在空冷区入口处,空气浓度大约为 5%,略微显得高一些,可能与空冷区内流速过低、换热效果不佳有关。

图 4 是图 2 与图 3 分布的必然对应结果。该图以相对值表示,作为参考值的基本



最大速度 84.43m/s

图 2 速度矢量图

传热系数取管束区各点传热系数的平均值。在管束外围区域,流速高,空气浓度低,传热系数远大于平均值,一般可达 4000 W/(m²·K) 以上;但在旋涡区内,由于流速降低及

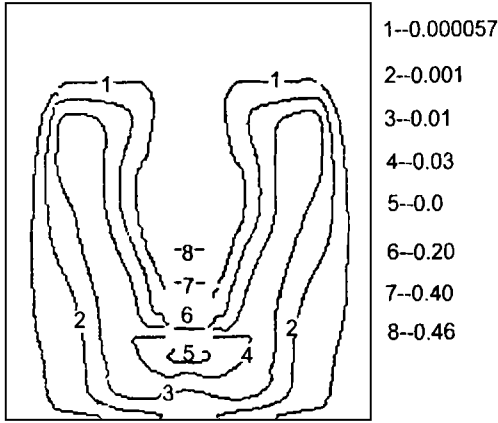


图 3 空气浓度分布

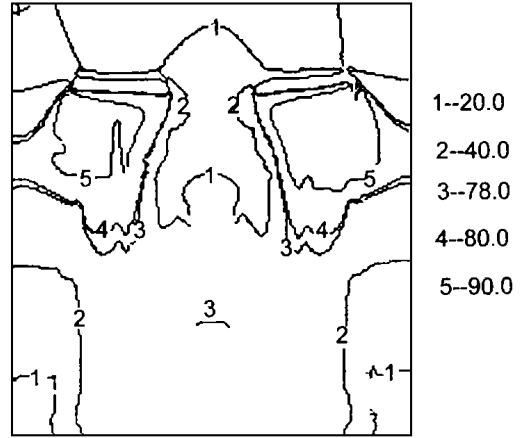


图 5 压降分布

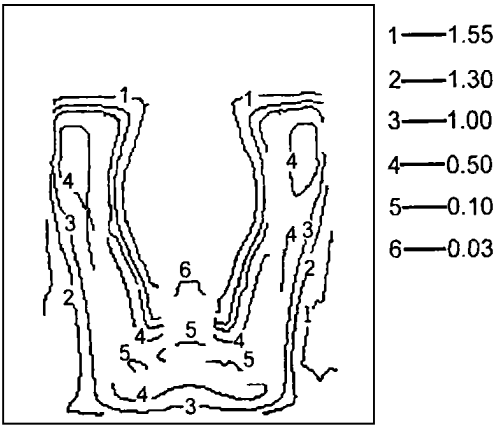


图 4 相对传热系数分布

是在靠近左右两侧通道的流动旋涡区内,这一现象大概是始料不及的

该凝汽器壳侧的温度分布如图 6 所示。对本凝汽器而言,由于总压力变化不大,所

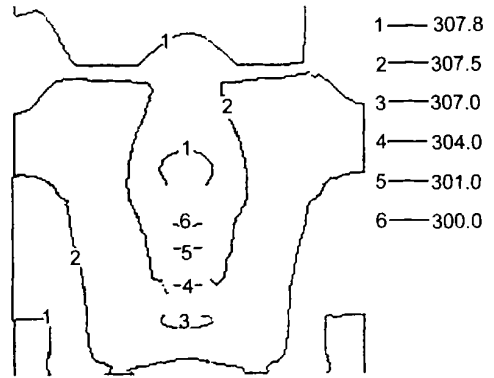


图 6 温度分布

空气积聚,传热系数急剧降低,旋涡中心处的传热系数仅有 $10.00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 左右,空冷区的空气浓度更高,流速也低,传热系数更小,进口处仅为 $700 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,末端不足 $100 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

该凝汽器的整体压降不大,约为 120 Pa 但是压力场的分布较为紊乱,如图 5 所示(图中各点的压力均以相对于进口截面中点的压差表示)。在管束模块左右两侧的蒸汽通道内,由于汽流加速,压力最初下降很快,随后有所恢复。压力自管束外围至管束中心而后至空冷区逐次下降的总体趋势虽有所表现,但最低压力点并不在空冷区,而

以温度分布主要取决于空气浓度的分布,将图 6 与图 3 作以对比,不难发现它们之间的这一对应关系。由图 6 可以看出,本凝汽器主凝结区内的温度变化很小,温度的降落主要发生在空冷区之内。从管束外围到空冷区入口,温度仅下降了 0.5°C 左右,这一点对于降低凝结水过冷度十分有利。加之新蒸汽直达凝汽器底部将会带来一定的回热效果,所以本凝汽器凝结水的过冷度预计不会太大。

3 结论

通过以上的计算和分析,可归纳出两点结论:

(1) 本凝汽器在设计条件下工作时所能建立的压力极有可能略高于设计压力。

(2) 本凝汽器的管束布置具有一定的合理性,主要表现在:大部分管束区内具有适当的蒸汽流速和较高的传热系数;凝汽器壳侧的整体流动压降较小;主凝结区内蒸汽的温度变化不大,加之良好的换热效果,所以凝结水的过冷度不会太大。但是,结构设计存在一些有待改进之处,主要表现在:管束区存在一定的流动旋涡,导致空气积聚和局部传热系数的大幅度下降;管束中心区空气浓度高的混合物流程过长,易与主蒸汽流混合,影响传热。

具体的改进措施需要通过进一步计算

提出。

参考文献

- 1 Marto P J. Heat transfer and two-phase flow during shell-side condensation. *Heat Transfer Engineering*, 1985, 5(1)(2): 31~ 61
- 2 Zhang C, Sousa A C M, Ventart J E S. Numerical simulation of different types of steam surface condensers. *Journal of Energy Resource Technology*, 1991, 113 63~ 70
- 3 俞茂铮,姚秀平等.大功率汽轮凝汽器汽相流动与传热特性的数值分析. *动力工程*, 1995, 15(6): 42~ 49
- 4 张卓澄主编.大型电站凝汽器.机械工业出版社,北京,1993

作者简介 朱光宇,男,1972年12月生,1995年毕业于西安交通大学能源与动力工程学院热力涡轮机专业。1995年9月至今在西安交通大学热力涡轮机械研究所攻读硕士学位,从事凝汽器内汽相流动与传热特性方面的研究。

(渠源 编辑)

新机组

Titan 130即将投入市场

据“Gas Turbine World”1997年7-8月号报道,Solar透平公司正在研制供压缩机、泵和发电机机械驱动用的13.3 MW Titan130型燃气轮机。

该燃机是Solar透平公司最大的燃机,是通过该公司的Taurus70型燃机比例放大得到,许多部件与Mars发动机通用或是它们的改型。

14级轴流压气机装有进口可转导叶和5列变几何静子,用于部分负荷和起动时的喘振控制并在整个负荷范围优化机械驱动运行。垂直剖分的机匣易于检查和修理。单环燃烧室使用了干式贫预混低NO_x燃烧系统,共装有14个燃料喷嘴。二级燃气发生器涡轮(高压涡轮)的2级静叶和第一级动叶采用空气冷却。二级自由动力涡轮是不冷却的。装有可倾瓦径向支持轴承和两个可倾瓦止推轴承。压比为16:1,空气流量为47.4 kg/s,排气温度为488℃,热耗率为10 435 kJ/(kW·h),效率为34%+,涡轮转子进口温度为1211℃。

该型燃机计划在1997年末装配并进行试验。生产型发动机将于1998年交付使用。

(思娟 供稿)

超临界直流锅炉启动过程汽水膨胀的研究 = **A Study of the Water Swell in Supercritical Once-through Boilers During Start-up** [刊, 中] / Yang Dong, Chen Tingkuan, Hou Shuhai, Bi Qingcheng (Xi'an Jiaotong University), Yang Zhongmin, Li Yongxing (Harbin Boiler Works) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1998, 13(3). -161~ 164

A mathematical model is set up for calculating the water swell in a supercritical pressure once-through boiler during its start-up. The model has been verified through tests and was used to calculate the water swell during a cold-state and hot-state start-up process in a 600 MW supercritical pressure once-through boiler designed and developed by Harbin Boiler Works. All the above has provided a basis for the design of boiler start-up systems and the drawing-up of start-up curves. **Key words** supercritical pressure, once-through boiler, water swell

三通型汽轮机电-压力转换器的研究 = **A Study of Three-way Electro-pressure Converter for a Steam Turbine Regulating System** [刊, 中] / Wei Jianhua (Zhejiang University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1998, 13(3). -165~ 167

Described in this paper is the principle of an imported electro-pressure converter for use in a steam turbine regulating system. The electrical control principle and mechanical structure features of a home-made three-way electro-pressure converter are also discussed with its experimental curves presented. **Key words** steam turbine regulation, electro-hydraulic converter

汽轮发电机转子扭振模型修改 = **Modification of a Turbogenerator Rotor Torsional Vibration Model** [刊, 中] / Guo Li, Sheng Xiaomin (Hunan University), Cheng H S (American Northwestern University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1998, 13(3). -168~ 170

In connection with the establishment of a precise turbogenerator rotor torsional vibration model this paper discusses the modification with the help of test-obtained incomplete modalities of a concentrated parametric model set up by a finite element method, making it within the required frequency range to coincide with the measured dynamic characteristics. Given in this paper are the results of calculation for a home-made 200 MW turbogenerator unit. **Key words** turbogenerator, rotor, torsional vibration

大港电厂 328 MW 汽轮机凝汽器数值模拟与特性分析 = **Numerical Simulation and Characteristics Analysis of 328 MW Turbine Condenser of Dagang Power Plant** [刊, 中] / Zhu Guangyu, Li Hongmei (Xi'an Jiaotong University), Tang Ming (Harbin No. 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1998, 13(3). -170~ 174

By the use of a numerical method calculated was the flow and heat transfer process on the condenser shell side of a 328 MW steam turbine condenser imported from Italy. An analysis is given of the rationality of the condenser design. The results of the analysis show that the layout of the condenser tube bank features rationality in certain aspects but there is room for improvement. Hence, the operating pressure may be slightly higher than the design pressure. **Key words** condenser, numerical simulation, analysis

蓄冰空调变风量系统工程可行性分析 = **The Analysis of Engineering Feasibility of VAV in an Ice Storage-assisted Air Conditioning System** [刊, 中] / Liu Zhenyan, Yu Guangbao, Ding Yihong (China National University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1998, 13(3). -175~ 177

Proposed in this paper is a new concept concerning the use of variable air flow rate air feeding system in the ice storage assisted air-conditioning system. An analytical study is performed of its engineering feasibility. The results of the study have shown that the setting-up of the variable air flow rate air feeding system in the above-cited air conditioning system will not only reduce the cold load but also lower operation cost. In addition, it can eliminate the major defect in the ice storage-assisted air conditioning system, namely the serious mismatching of loads. The authors have also through specific engineering cases analyzed engineering economics. **Key words** ice storage-assisted air conditioning, variable air flow, system feasibility

循环流化床中贴壁回探流的机理试验研究 = **An Experimental Study of Wall-adhered Return Flow Mechanism in a Circulating Fluidized Bed** [刊, 中] / Guang Xin, Niu Changshan, Gu Yaping, et al (Xi'an Jiaotong