

200 MW 汽轮机真空对功率影响特性的试验研究

(吉林省电力科学研究院, 吉林 长春 130021) 魏 豪 田志壮

(吉林热电厂, 吉林 长春 130021) 简英俊

摘 要:通过对国产 200 MW 汽轮机进行的真空变化试验确定了汽轮机的极限真空和真空变化通用曲线,借助于试验得到的真空修正曲线能较准确地反映机组的实际特性,对同类型机组有一定的参考价值。

关 键 词:汽轮机; 真空; 试验

中图分类号: TK262

文献标识码: A

汽轮机排汽压力不是固定不变的,它随着很多因素的变化而变化。排汽压力的变化对机组的经济性及带负荷能力影响很大,排汽压力升高,将会引起机组功率减少。在末级超临界的情况下,排汽压力在一定范围内变化,不影响汽轮机的进汽量,因此只对功率进行修正。排汽压力的变化对末级工况的影响较为复杂,简化的分析计算并不可靠,借助于试验得到的修正曲线更能反映机组的实际特性。

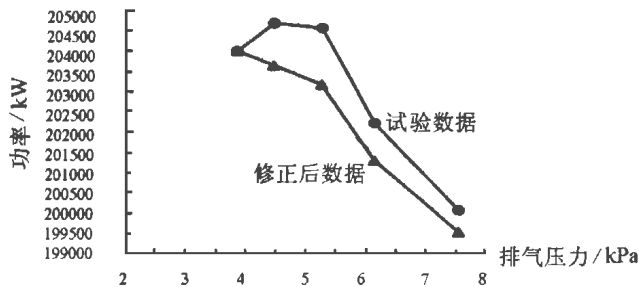


图 1 200 MW 工况排汽压力与功率关系曲线

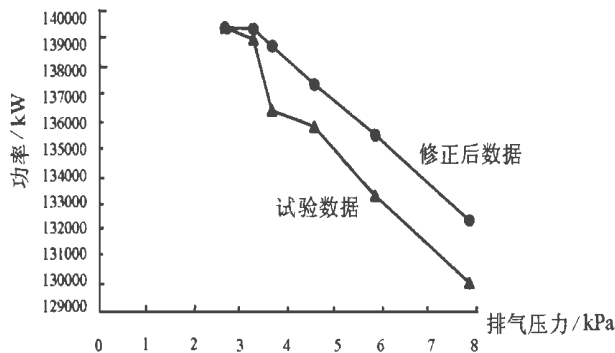


图 2 140 MW 工况排汽压力与功率关系曲线

为了确定 200 MW 汽轮机实际的真空修正曲线,吉林省电力科学研究院对吉林热电厂 200 MW 汽轮机进行了变真空特性试验,确定了机组的极限真空和真空变化通用曲线,试验结果对同类型机组有一定的参考价值。

1 设备概况及性能试验

1.1 汽轮机性能规范

机型: N200—12.7/535/535 额定功率: 200 MW
主蒸汽流量: 610 t/h 主蒸汽压力: 12.75 MPa
主蒸汽温度: 535 °C 排汽压力: 5.108 kPa
冷却水温: 20 °C

冬季循环水取自松花江,水温接近零度,可使汽轮机排汽压力降至很低,这就为进行变真空试验提供了条件。

1.2 试验情况

本次试验的目的是在汽轮机主蒸汽流量不变的情况下,求取汽轮机排汽压力变化对功率的影响关系并确定机组的极限真空。

试验时停止厂用抽汽,除氧器保持高水位,凝汽器不补水,锅炉不排污。主蒸汽压力与温度保持稳定,其中主蒸汽压力的波动不超过额定值的 $\pm 0.5\%$;主蒸汽温度的波动不超过 $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。每次真空变化后稳定至少 20 分钟,记录 10 分钟。

1.4 测量仪表及测量方法

试验时发电机端功率用 0.1 级数字式功率表测量;排汽压力采用 0.1 级真空变送器测量;主蒸汽压力换装 0.4 级标准压力表;大气压力采用精密水银气压计测量;试验数据采用人工记录和计算机采集相结合的方式,各主要参数每分钟记录 1 次。

2 试验数据的整理及计算

2.1 数据的整理

各工况实测数据汇总后求得各参数多次记录的平均值参与计算,对压力值进行了表管水柱高度和大气压力的校正计算。

对 200 MW 和 140 MW 工况分别进行了整理计算。为求得真空变化对功率的影响关系,对主蒸汽压力、温度和主蒸汽进汽量偏离参照工况进行了修正计算。

根据试验数据和修正后数据绘制的真空变化与功率关系曲线如图 1、图 2 所示:

2.2 主要计算结果

根据修正后数据计算可知,200 MW 工况下排汽压力每变化 1 kPa,功率平均变化:

$$\frac{204\,009.8-199\,556.0}{7.541-3.841}=120\,3.7\text{ kW}$$

140 MW 工况下在极限真空以上,排汽压力每变化 1 kPa,功率平均变化:

$$\frac{139\,335.76-132\,465.46}{7.841-3.241}=149\,3.5\text{ kW}$$

140 MW 工况下极限真空值约为 3.241 kPa。

3 真空变化曲线的绘制

真空变化曲线包括真空变化通用曲线和真空变化对功率的修正曲线,为了绘制曲线,首先要将经过修正后的数据进行变换,然后再绘制曲线。

3.1 真空变化通用曲线

当真空变化时,单位排汽量的功率改变值 $\Delta N_g / G_{ep}$ (单位比功率) 只与 P_{ex} / G_{ep} (单位比压力) 有关。而且 $\Delta N_g / G_{ep}$ 与 P_{ex} / G_{ep} 的关系式对应于不同的排汽量具有相同的形式,即为同一条曲线。因而,可以用在两种低压缸排汽量下进行真空变化试验的数据,做出通用曲线。

表 1 140 MW 工况数据汇总表

项目	单位	1	2	3	4	5	6
P_{ex}	kPa	2.641	3.241	3.641	4.541	5.841	7.841
N_g^r	kW	139 387.3	139 335.8	138 728.1	137 336.9	135 542.0	132 466.5
ΔN_g	kW	0	-51.5	-69.2	-2 050.4	-3 845.3	-6 921.8
$\Delta N_g / G_{ep}$		0	-0.174	-2.226	-6.925	-12.987	-23.415
P_{ex} / G_{ep}		8.919 6	10.946	12.297	15.337	19.727	26.482

表中: P_{ex} 为实测排汽压力; N_g^r 为经参数修正后功率; ΔN_g 为功率变化量; $\Delta N_g / G_{ep}$ 为单位比功率; P_{ex} / G_{ep} 为单位比压力; G_{ep} 为排汽量, t/h。

为了绘制真空变化通用曲线,将 200 MW 相对于 140 MW 功率改变的起算点所对应的排汽压力按正比关系求出,即

$$P'_{ex} = P_{ex} \frac{G'_{ep}}{G_{ep}} = 2.641 \frac{418.24}{296.09} = 3.731\text{ kPa}$$

当用 $P'_{ex} = 3.731\text{ kPa}$ 作为功率的起算点时,200 MW 工况下各功率变化值及相应单位比功率和单位比压力如表 2 所示。用内插法可算出 $P_{ex} = 3.841\text{ kPa}$ 时 $P_{ex} = 3.731\text{ kPa}$ 对应的功率改变量 $\Delta N_g = -66.5\text{ kW}$,当改用 3.731 kPa 作为功率的起算点时,各试验点的功率改变换算值 $\Delta N'_g$ 依次与 -66.5 相减,具体数值见表 2 第 5 行。

表 2 200 MW 工况数据汇总表

项目	单位	1	2	3	4	5
P_{ex}	kPa	3.841	4.441	5.241	6.141	7.541
N_g^r	kW	204 009.8	203 648.7	203 168.4	201 313.3	199 556.0
ΔN_g	kW	0	-361.1	-841.4	-2 696.5	-4 453.8
$\Delta N_g / G_{ep}$		0	-0.863	-2.012	-6.447	-10.649
$\Delta N'_g$	kW	-66.5	-294.6	-907.9	-2763	-4520.3
$\Delta N'_g / G_{ep}$		-0.159	-0.704	-2.171	-6.606	-10.808
P_{ex} / G_{ep}		9.184	10.618	12.531	14.683	18.030

根据以上数据,将两种流量下各试验工况点的单位比功率和单位比压力在同一坐标上作图,便得到真空变化通用曲线,如图 3 所示。

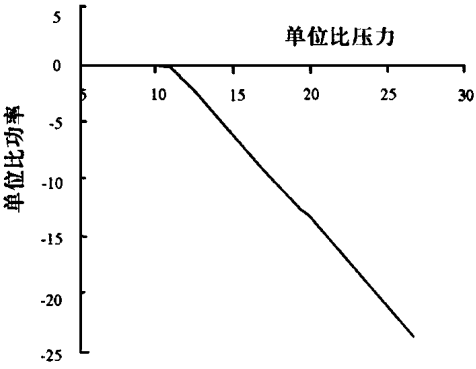


图 3 真空变化通用曲线

3.2 真空变化对功率的修正曲线

绘制真空变化对功率的修正曲线时先在通用曲线上选择若干点,由曲线查出这些点的 $\frac{\Delta N_g}{G_{ep}}$ 和 $\frac{P_{ex}}{G_{ep}}$ 值,然后假设一些流量值,并分别与 $\frac{\Delta N_g}{G_{ep}}$ 和 $\frac{P_{ex}}{G_{ep}}$ 相乘,从而得到各种流量下的 ΔN_g 和 P_{ex} 值,绘制出的真空变化对功率的修正曲线如图 4 曲线 3 所示。

(下转第 386 页)

在细颗粒(Geldart 分类法 A 类和 B 类粒子)循环流化床中向壁面的传热为径向固体颗粒团的导热、分散相的对流传热和包括两相的辐射传热^[4]。其中辐射传热是主要的传热方式。因此,本试验对实际工况进行简化,在试验条件下也是以辐射传热为主,这不影响我们对膜式壁炉衬结构的抗热震性能的研究。

试验结果表明,1 号和 3 号试样的抗热震性能较强,可以安全地经受 15 次水急冷法抗热震。2 号和 4 号试样的抗热震性能相对较弱,并且破损率较大,分别约为 8% 和 10%。其中 4 号和 1 号试样的管节距(100 mm)和管径($\Phi 51$ mm)均相同,但 4 号试样的销钉数比 1 号试样的少 40%,结果抗热震性能比 1 号的弱。3 号试样和 2 号试样具有相同的管节距(76.2 mm)和管径($\Phi 51$ mm),但 3 号试样的销钉数比 2 号试样的少 54%,抗热震性能却比 2 号的强。我们发现管节距和销钉密度对于膜式壁炉衬的抗热震性能有一定的影响,这也是我们在设计膜式壁炉衬结构时应考虑的因素。

因为锅炉内火炬的形状和充满度,火炬的温度场、速度场都是不均匀的,并且膜式壁炉衬的受热面的结构特性存在差异,因而受热面的热负荷也是不均匀的,膜式壁温度分布情况较为复杂。火炬热流密度对膜式水冷壁温度场变化的影响已有文献进行了研究^[3]。研究表明,膜式水冷壁处于不均匀的温度范围,特别是肋片的工作条件最差,肋片的左右、前后、上下都存在温差,尤其是长肋片温差更大,一

般温差在 40°C 以上,热危险点在肋端的正外壁面,它是水冷壁截面温度分布的最高点。因此,在结构布置上应适当减小肋片长度,即适当的缩小管节距。当然,膜式水冷壁管不能布置过密,因为这对于维持较高的炉温有不利的影响。

在设计膜式壁炉衬时,设置销钉可使壁面热吸收量增加,增大销钉密度可使热量吸收增加得更多,不过对该处的流体动力特性要产生影响,同时可能会使金属温度过高,降低炉衬的抗热震性能。因此,要注意选择一个最佳的销钉密度值。

另外,水冷壁管径也是我们在设计膜式壁炉衬时应关心的因素。运行实践表明,管内径较小的炉膛水冷壁具有较大的热敏感性^[4]。然而,并不是水冷壁管径越小越好。在设计时,水冷壁管径不宜过小,通常采用 $\Phi 51 \sim 76$ mm、壁厚 3.5 ~ 6.0 mm 的无缝钢管。

参考文献:

- [1] 何祥义. 循环流化床锅炉磨损机理、防磨材料及应用研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 1999
- [2] [加] 巴苏 P, 弗雷泽 S A. 循环流化床锅炉的设计与运行[M]. 岑可法, 倪明江, 骆仲决, 等译. 北京: 科学出版社, 1999.
- [3] 岑可法, 樊建人, 池作和, 沈璐婵. 锅炉和热交换器的积灰、结渣、磨损和腐蚀的防止原理与计算[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [4] 唐虹, 杨瑞昌, 鲁钟琪等. 300 MW 机组直流锅炉调峰运行水冷壁安全性分析[J]. 清华大学学报(自然科学版), 1997, 2: 16-18.

(渠 源 编辑)

(上接 383 页)

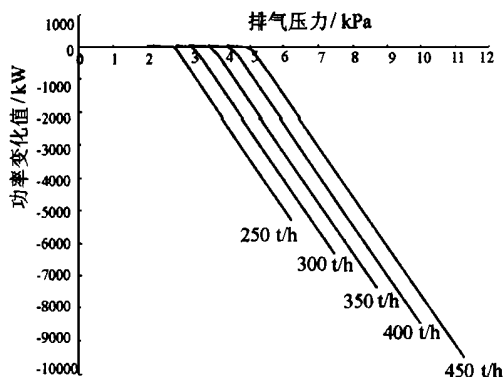


图 4 真空变化对功率的修正曲线

根据曲线可查得,在 200 MW 工况排汽流量为 418 t/h 时,机组的极限真空约为 4.5 kPa。

4 结论

(1) 根据吉林热电厂十号机变真空试验,可知该机在 200 MW 工况下真空每变化 1 kPa,功率变化 1203.7 kW;在 140 MW 工况下真空每变化 1 kPa,功率变化 1493.5 kW。140 MW 工况下极限真空值约为 3.241 kPa。根据真空变化对功率的修正曲线查得,200 MW 工况下极限真空约为 4.5 kPa。

(2) 该机真空变化通用曲线如图 3 所示;该机真空变化对功率修正曲线如图 4 所示。

(3) 通过试验得到的该机真空变化曲线可供同类型机组参考。

参考文献:

- [1] 杜秉谦. 汽轮机热力试验[M]. 北京: 电力工业出版社, 1982
- [2] 陆逸逸. N200-12 75/535/535 型汽轮机热力特性汇总[C]. 哈尔滨汽轮机厂, 1983.

(渠 源 编辑)

mechanism

燃气轮机催化燃烧室的实验研究= **Experimental Study of a Gas Turbine Catalytic Combustor** [刊, 汉] / LIU Min, CHEN Yan-fen, HAN Li-zhong, *et al* (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power . — 2000, 15(4). — 376 ~ 378, 381

Described in this paper is the working principle of a combustor featuring the integration of catalysis with premixing along with an experimental study of such combustors. An analysis was conducted of the major factors believed to have an influence on catalytic combustion. The integration of premixing with catalytic combustion can lead to an enhancement of the catalyst service life, an improvement of the combustor reliability and a reduction of NO_x emissions by the gas turbine through a highly cost-effective method. **Key words:** gas turbine, combustor, catalytic combustion

低压汽缸排汽道改进设计的试验研究= **Experimental Study of an Improved Design for the Exhaust Steam Passage of a Low-pressure Turbine Cylinder** [刊, 汉] / QIN Xiao-cheng, GAO Lei (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power . — 2000, 15(4). — 379 ~ 381

To enhance the work efficiency as well as the operation reliability and safety of a steam turbine unit, an experimental study was conducted of the various improved design schemes of a complicated exhaust-steam passage for a low-pressure naval steam turbine fitted with an astern unit. The results of the experimental study indicate that the rational layout of a diffusion section and the addition of a flow guide device can be conducive to a reduction of exhaust steam loss and a lessening in flow field non-uniformity. **Key words:** naval steam turbine, low-pressure turbine cylinder, exhaust steam passage, improved design, experimental study

200 MW 汽轮机真空对功率影响特性的试验研究= **Experimental Research of the Effect of 200 MW Steam Turbine Vacuum on Its Power Output** [刊, 汉] / WEI Hao, TIAN Zhi-zhuang (Jilin Provincial Scientific Research Institute of Electrical Power, Changchun, Jilin, China, Post Code: 130021) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power . — 2000, 15(4). — 382 ~ 383, 386

Through a series of tests on the variation of vacuum values in a Chinese-made 200 MW steam turbine determined were the turbine vacuum limit values and the general characteristic curves of vacuum variation. With the help of the vacuum correction curves obtained through tests it is possible to reflect in a fairly accurate way the actual performance of the turbine unit. This can serve as a helpful guide for assessing the performance of other similar turbine units. **Key words:** steam turbine, vacuum, test

循环流化床锅炉膜式壁炉衬抗热震性试验研究= **Experimental Study of the Thermal Shock Resistance of Membrane Wall Linings Installed in a Circulating Fluidized Bed Boiler** [刊, 汉] / CHEN Yong-guo, GUO Sen-kui, HE Xiang-yi, *et al* (Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan, China, Post Code: 650093) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power . — 2000, 15(4). — 384 ~ 386

Thermal shock resistance tests have been conducted for various structural types of membrane wall linings along with a heat transfer analysis of the linings. On this basis the authors have come up with an optimized structural design of the membrane wall lining fit for use in circulating fluidized bed boilers. **Key words:** circulating fluidized bed boiler, membrane wall, furnace lining, heat transfer analysis

模拟工业炉温度特性下的型煤固硫特性的试验研究= **Experimental Study of Coal Briquette Desulfurization Characteristics under the Condition of the Elevated Temperatures of an Industrial Boiler** [刊, 汉] / WU Shu-zhi, ZHAO Chang-sui (Thermal Energy Institute under the Southeastern University, Nanjing, Jiangsu, China, Post Code: 211106) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power . — 2000, 15(4). — 387 ~ 388, 391