

湿蒸汽透平的汽水分离器的试验研究

陈庆龙 刘 环
(哈尔滨 70 研究所)

【摘要】 本文叙述用于湿饱和蒸汽透平的中间汽水分离器的试验研究结果。选型试验的过程是从冷态(空气-水试验)到热态鉴定性试验,从模化到全尺寸模型的考核,将最佳的汽水分离器模型制为产品,再经长期运行考验后证明:试验研究是成功的,产品是安全可靠的。

关键词 试验体 空气-水试验台 蒸汽-水试验台
分类号 TK262

0 引言

在湿饱和蒸汽轮机中,高压缸排汽湿度可达(8~10)%,因而低压缸出口蒸汽湿度就可能很高,在这种情况下单靠机内去湿装置就不能将湿度降至允许值。对于湿饱和蒸汽轮机往往设有中间(高低缸连接管处)汽水分离器或汽水分离再热器,本文简要介绍中间汽水分离器的试验研究工作及其结果。

对中间汽水分离器的主要性能要求是:(1)在较宽的负荷范围内分离效率 $\geq 90\%$;(2)额定负荷(100%)下分离器阻力小于或等于入口压头的3%;(3)分离器尺寸不得超过布置允许值;(4)蒸汽进、出口接管符合总体布置要求。

1 冷态选型试验

1.1 空气-水试验系统

空气-水试验(冷态试验)的主要任务是把经分析、筛选过的分离器原型,按模化理论制出试验件,用具有一定湿度的空气通过它,从而测出其效率及阻力损失。

试验系统的主要设备如图 所示。

风机的流量和压头限制了测试范围,为此有一

台大容量离心风机和一台罗茨风机,即使如此,也不是能让所有试验件跨越临界,所以只能进行性能比较,以决定优劣。

水泵的压头必须满足雾化水的要求,需预做单项试验。

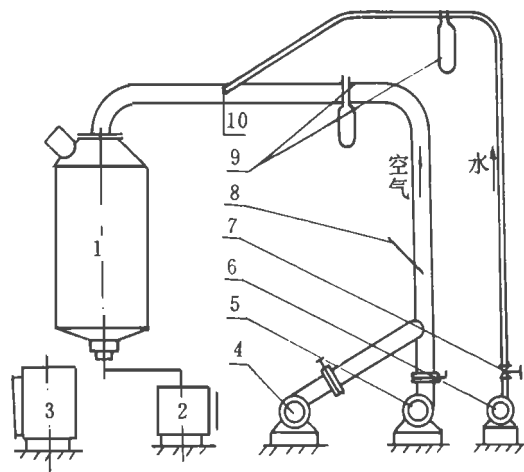


图1 空气-水试验台系统图

1. 试验体 2. 一次疏水测量箱 3. 二次疏水测量箱
4. 高压风机 5. 低压风机 6. 水泵 7. 调节阀 8. 温度计
9. 流量测量装置 10. 水雾化器

收稿日期 1995-11-23 收修改稿 1996-11-21

本文联系人 陈庆龙 男 58 高级工程师 528000 广东佛山市张槎路德朋大厦 507室

1.2 试验件简介

每一个试验件都是按模化理论制作的小汽水分离器。从广泛的类型开始,朝研究目的聚焦,以期既不遗漏又能及时找到一种较为理想的雏型。

膜式分离元件见图 2 图 3 图 4

膜式分离器的分离元件种类很多,但以工程实用为目的,则除有良好分离性能外,还必须有的工艺性能。

图 2 中 (a)所示为金属丝网,由 8- 18 铅丝网与拉网板压制而成,成型厚度为 20 mm

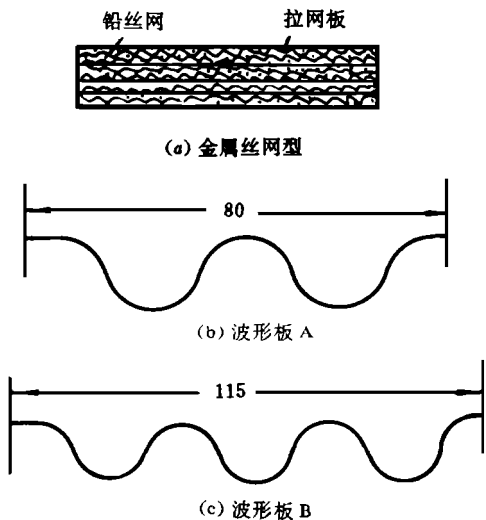


图 2 膜式分离元件

图 2 中 (b) (c)是不锈钢波形板,它常用于锅炉,作为汽包内部分离元件,板厚 1 mm, A 型为二波半; B 型为三波半,后者增加一个波幅,以增加有效捕捉水滴的行程。

膜式分离器靠分离元件表面附着水滴,然后将已捕捉到水滴聚集起来,及时疏导出去。

膜式分离器容易按照设备要求进行布置,只要能满足流速、疏水要求即可。

图 3 是波形板分离器,由于分离元件有 A B 两型,故波形板分离器也有两种型号。

在冷态试验中,试验件是取图 3 的十二分之一(即 30°角)进行空气-水试验。

离心分离的机理,是以适当速度运动的空气-水混合物碰撞到壁面,因其比重差及方向的变化形成水膜,再经有效疏导及时引出,达到分离作用。

离心分离器试验件必须严格遵循模化理论,使其冷态试验结果对热态试验体的制作起到切实可靠的指导作用。

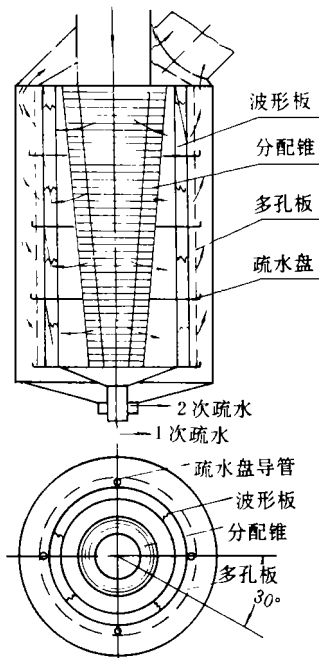


图 3 波形板分离器

图 4 是几种离心式分离器试验体,事实上,分离器选型试验比较繁杂,以不同组合构成的规格超过一百种。

1.3 试验结果及评定

下表是部分分离器在满足性能要求时所达到的最大试验风量。

表 1

单位: m³ / h

| 试验体 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------|------|------|------|------|------|
| 最大风量 | 5400 | 6200 | 7420 | 8825 | 9200 |

对于给定要求,膜式分离器和离心式分离器都是可以布置的,但其性能稍有不同。见图 5

由图 5 可见,膜式分离器有较高分离效率,当出口湿度要求较低且不易出现超负荷运行的条件下,采用它是合适的;而离心分离器在高负荷下性能比较平稳。

2 空气-水与蒸汽-水试验结果的换算问题

为确保产品性能,必须进行鉴定性试验。在这种试验中,试验体与未来产品的尺寸和试验用蒸汽参数均相同。此即为热态试验。

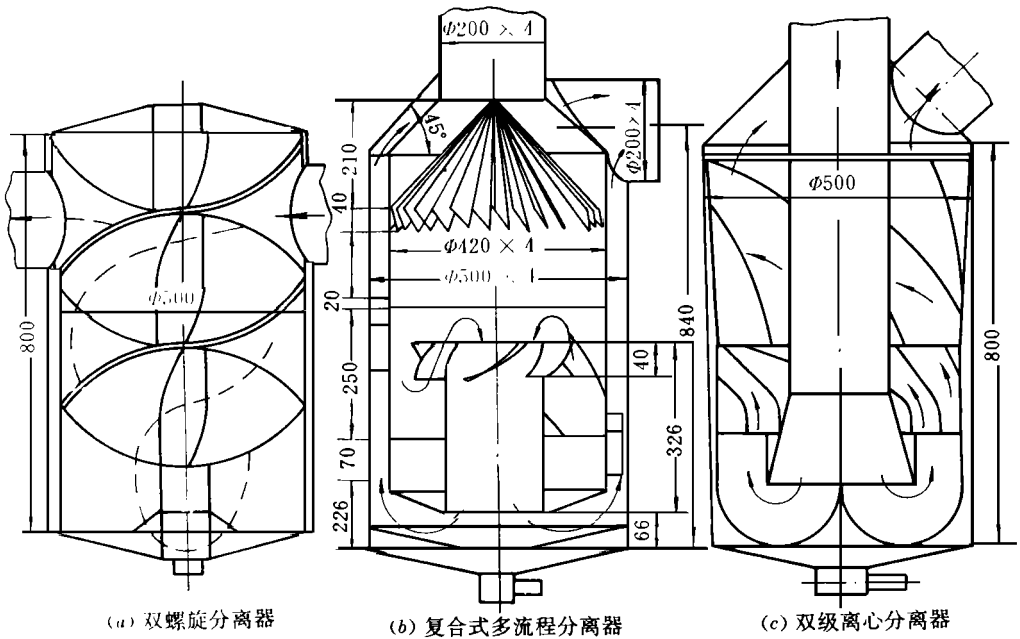


图4 离心分离器

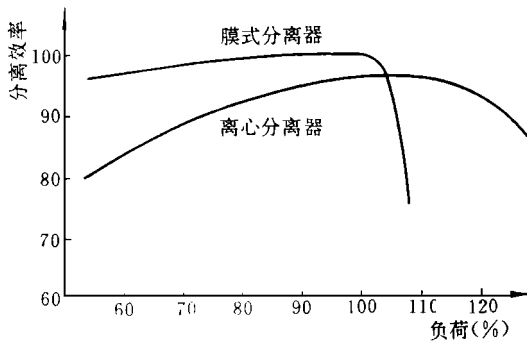


图5 分离器性能曲线

热态试验的费用巨大,既不可能也不需要将所用冷态模型都加以试验,这就要框定冷态试验与热态试验间的关系。

根据分离过程机理,在空气(或蒸汽)-水混合物进行有效分离过程中出现大量带水的原因是二次湿润,即在壁面已分离下来的水份形成的水膜被吹破,从而产生二次带水。出现这种现象前的速度称临界速度,此状态下负荷称为临界负荷。设计分离器时允许速度与负荷以此为界。

为便于对临界速度进行参数换算,应用相似理

论,建立必要方程组。此时认为:相之间没有换热,其运动仅仅是动力过程,分离器内每一相运动都视为不可压缩的流体。对于直角坐标其两相运动方程式、连续性方程在一个向上可以写成:

$$d \frac{\partial W'_x}{\partial t} + d (W \times \frac{\partial W'_x}{\partial x} + W_y \frac{\partial W'_x}{\partial y} + W_z \frac{\partial W'_x}{\partial z}) = d g_x - \frac{\partial P}{\partial x} + \rho (\frac{\partial^2 W'_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W'_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 W'_x}{\partial z^2}) \quad (1)$$

$$\frac{\partial W'_x}{\partial x} + \frac{\partial W'_y}{\partial y} + \frac{\partial W'_z}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

$$d' \frac{\partial W''_x}{\partial t} + d' (W'' \times \frac{\partial W''_x}{\partial x} + W''_y \frac{\partial W''_x}{\partial y} + W''_z \frac{\partial W''_x}{\partial z}) = (d' - d) g_x - \frac{\partial d}{\partial x} + \rho'' (\frac{\partial^2 W''_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W''_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 W''_x}{\partial z^2}) \quad (3)$$

$$\frac{\partial W''_x}{\partial x} + \frac{\partial W''_y}{\partial y} + \frac{\partial W''_z}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

相与相之间相互作用有

$$d (v'_i \cdot v'_k)_{rp} = d'' (v''_i v''_k)_{rp} \quad (5)$$

$$W''_{rp} = W'_{rp} = 0 \quad (6)$$

式中 W', W'' ——液相和汽相的速度
 ρ, ρ'' ——液相和汽相的动力粘度系数
 d', d'' ——液相和汽相的密度
 v'_i, v'_k, v''_i, v''_k ——液相和汽相的脉动速度

由于运动是紊流工况,分子之间摩擦力可以忽

略。在水的微元容积的微分方程中考虑粘性力,联系液相与汽相的压力,并借助拉普拉斯公式,可以将上述微分方程整理出下列准则关系式:

$$\frac{W'^2}{gl} \cdot \frac{\Delta D'}{d'W'^2}, \frac{W''f}{d}, \frac{W'^2}{gl}, \frac{W'l}{g}, \frac{\Delta D}{lW^2}, \frac{W'f}{l}, \frac{e}{l^2(r' - r'')} \text{ 和 } \frac{W'^2 r''}{W'^2 r}$$

鉴于强烈的紊流工况可以认为:

1. 蒸汽的重力影响可以忽略;
2. 单值性条件中没有计入时间与压差;
3. 忽略分子间的摩擦力;
4. 流体的运动速度,由蒸汽(空气)和水本身的

互相作用来决定,因此水的福鲁德数 $F_r = \frac{W'^2}{gl}$ 不确定。

因此在上述众多准则中,只有一个是确定的,即

$$W_1 = \frac{e}{l^2(r' - r'')}, \text{ 式中: } e \text{ — 水表面张力。}$$

分析上式表明,在决定开始撕破水膜的速度仅取决于水、蒸汽(或空气)的物理特性——表面张力(e)、比重(r', r'')和系统的定性尺寸(l)。因此临界速度由下式决定:

$$W_{kp} = k \frac{e}{r''} \left[\frac{r'}{r''} \right]^{1/3} \cdot \left[\frac{r'}{r'' - r''} \right]^{1/2}$$

式中: K 为常数

这样极限允许负荷 R 沿分离器定性截面上的临界速度将有如下换算关系:

$$\frac{R_{VP1}}{R_{VP2}} = \frac{W'_{P1}}{W'_{P2}} = \frac{1}{U} = \left\{ \frac{\frac{e}{r''} \left(\frac{r'}{r''} \right)^{1/3}}{\frac{e}{r''} \left(\frac{r'}{r''} \right)^{1/3}} \right\}_{P1}^{P2}$$

因此,全尺寸模化所需的数据,就可以根据参数变化条件来换算。

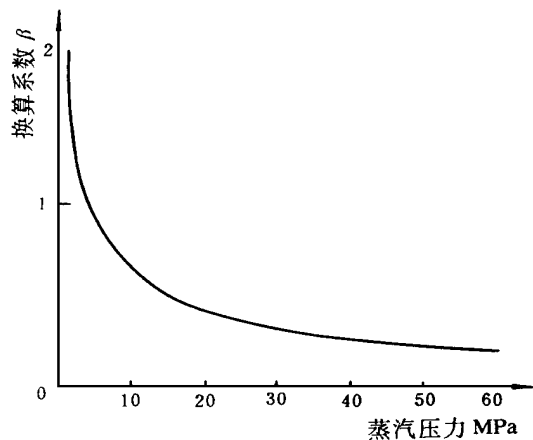


图 6 换算系数与蒸汽压力关系曲线

在一般情况下,冷态试验都是在试验室条件下

进行的,这样我们就可以得到图 6 实用换算曲线,供工程实践使用。

同样原理,求得 U 值后,对蒸汽条件下,阻力损失换算系数 h_s 为

$$h_s = \frac{U_{\text{空气比重}}}{U_{\text{蒸汽比重}}}$$

3 热态鉴定性试验

3.1 热态鉴定性试验

热态试验在热电厂内进行,利用抽汽轮机供汽,试验台排入供热系统。在热态鉴定性试验开始前,要进行各相关的单项试验。

3.2 试验体简介

所有参与热态试验的试验体必须具备两个基本条件:

- 性能满足要求,代表一种类型
- 所有定性尺寸与产品相同

上述图 3 和图 4 所示则是其中一部分。

3.3 试验结果

由于采用与实机相同参数的蒸汽进行试验,试验结果足以保证性能的可靠性。

额定负荷下主要性能:

入口温度 10.7%; 出口温度 0.95%; 阻力损失为入口压力的 4.8%。

4 结束语

实用技术的试验研究,始于预研项目的需要,落实在新产品设计之中。这类试验研究工作的目的性和针对性很强。这样一来,一方面是其成果很快转化为产品,另一方面从理论研究角度看也有粗糙之嫌,其实,只要在紧张的研制过程中认真积累资料,也是能弥补的。

实用技术试验研究成果还需在产品使用中去认证,这一过程往往很长,本成果经住了考验。

试验研究过程,绝大部分试验件都被筛选下去了,它们仅仅是对特定产品而言不能使用。但在其他条件下,如在石油化工、污水处理、空气-海水分离工程中,仍能发挥作用,本研究成果正是如此。

参 考 文 献

- 1 蔡颐年,王乃宁.湿蒸汽两相流.西安交通大学出版社.1985
- 2 帕坦卡 S.V.传热与流体流动的数值计算.科学出版社.1984

Electric Power Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1997, 12(1). -33- 36

The use of negative-pressure dust collecting units in thermal power plants of China and existing problems related with its use are described. In addition, the authors dwell on the theoretical basis for employing centrifugal fans to provide a negative-pressure source for the dust collecting units and its effectiveness in practical use. Also described are the design specifications of the centrifugal fan-based dust collecting systems. **Key words** negative-pressure dust collecting system, centrifugal fan, Roots fan, dust collector

电站燃煤锅炉结渣特性的试验研究 = **An Experimental Study of the Slagging Characteristics of a Coal-fired Utility Boiler** [刊,中] / Zhao Liming (Harbin Power Station Equipment Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1997, 12(1). -37- 40

Through the simulation of the actual boiler operating conditions by utilizing a pulverized coal combustion test stand to burn a coal sample on a trial basis conducted is a slagging test for the boiler of a power station 300 MW unit. A comprehensive slagging index R_2 is proposed with the credibility of evaluation being enhanced, resulting in a more accurate prediction of the boiler actual slagging trend. **Key words** boiler, Slagging, prediction, test

船用燃机新型排气红外抑制系统的数值计算与实验研究 = **Numerical Calculation and Experimental Study of a Naval Gas Turbine Exhaust Infrared Signature Suppression Device** [刊,中] / Du Zhaohui, Zhong Fangyuan (Shanghai Jiaotong University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1997, 12(1). -41- 44

By taking the exhaust system infrared signature suppression device of a third generation naval gas turbine with multi-jet eduction and multi-layer film cooling as an example developed and completed is a numerical calculation method for simulating the air flow and temperature fields of the said suppression device. On the basis of analysing the measured data of the model the authors have proposed a method for correcting the effect of modelling scale, thus providing a theoretical basis for analysing the infrared signature suppression device of the exhaust system. **Key words** infrared signature suppression, modelling scale, exhaust system, gas turbine

UG-75/5.3-M型锅炉布风板阻力的试验研究 = **An Experimental Study of the Air Distribution Plate Resistance of a Model UG-75/5.3-M₃ Fluidized Bed Boiler** [刊,中] / Li Zhiwang (Heilongjiang Provincial Electric Power Testing Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1997, 12(1). -45- 47

An analysis is performed of the mathematical model of air distribution plate resistance for a model UG-75/5.3-M₃ circulating fluidized bed boiler with the said plate resistance being tested. A regression was conducted by using the test results, and a calculation formula obtained for determining the variation of the air distribution plate resistance with air flow rate. The air distribution plate resistance factor obtained is designated as α . Some reference data are provided for the operation of the boiler. **Key words** circulating fluidized bed, air distribution plate, resistance

湿蒸汽透平的汽水分离器的试验研究 = **An Experimental Study of the Steam-Water Separator of a Wet Steam Turbine** [刊,中] / Chen Qinglong et al. (Harbin No. 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1997, 12(1). -48- 51

Presented in this paper are the experimental study results of an intermediary steam-water separator for a saturated-steam turbine. A type-selection test consists of a cold-state (air-water test) and a hot-state appraisal test, including a verification test first by simulation and then by a full-scale model. The optimum steam-water separator test model has been turned into a product. Its long-term safe and reliable operation has proved that the experimental study is a successful one. **Key words** test body, air-water test rig, steam-water test rig