

新型高效汽水分离元件研究

吕以波 任阿宝 陈玉翔

(哈尔滨七〇三研究所)

[摘要]经理论分析和实验室试验,设计出一种新型高效汽水分离元件,这种分离元件将内部通流速度提高至4.5~5.0 m/s时仍保持高效的分离性能,可以大幅度减少分离器的占用空间,降低分离器的材料耗量。

关键词 汽水分离 试验元件 效率

分类号 TK263.2

1 概述

在不同类型的汽水分离元件中,膜式分离越来越受关注。它适宜分离细小水滴,且有分离效率高,寿命长等优点。但因受到通流临界速度的限制,也存在占用空间大,金属耗量多等问题。本研究目的是通过试验分析设计新型波板分离元件及选择结构的优化组合,提高临界破膜速度。

冷态试验原始数据确定:试验中模拟入口湿度 W ,选为10%,元件通流速度 W 选为2.5~6 m/s,试验系统见图1。主要部件由水箱、水泵、喷雾头、风道、整流段、观察段、试验段、前后调节风门、旁通风道及计量仪表等。本文各数据计算过程从略。

2 造湿模拟

分离元件冷态试验的造湿手段历来是试验台上的难题之一,经过多次试验我们选用压力式旋流雾化片,可以满足试验要求。

核电站汽轮机组中,高压缸出口蒸汽湿度基本在(10~12)%范围内。湿蒸汽中水滴直径在40~80 μm 之间。中、高压锅炉内部汽水分离设备,虽受重力分离高度和锅炉压力的影响,但汽包内细分段(第二级分离入口)的水滴直径一般在50~120 μm 。为模拟水滴符合实际情况,用FAM激光颗粒测量仪监测,粒度直径在25.11~93.27 μm 的颗粒质量占总质量的85.34%,直径在13.74~30.35 μm 的颗粒质量占总质量的11.11%,其余直径>93.27 μm 和<13.74 μm 的颗粒质量占总质量的3.55%,结果较为满意。可见雾化后大部分颗粒直径在15~93 μm 之间,满足试验要求。模拟湿度选在(8~10.5)%之间,代表了汽轮机高压缸出口的蒸汽湿度。

3 新型波板分离元件

在双相流体中用重力、离心力、惯性的分离方法把大颗粒液滴分离后剩下的细小液滴只能靠粘附作用加以分离,常用波板(百叶

收稿日期 1994-04-06

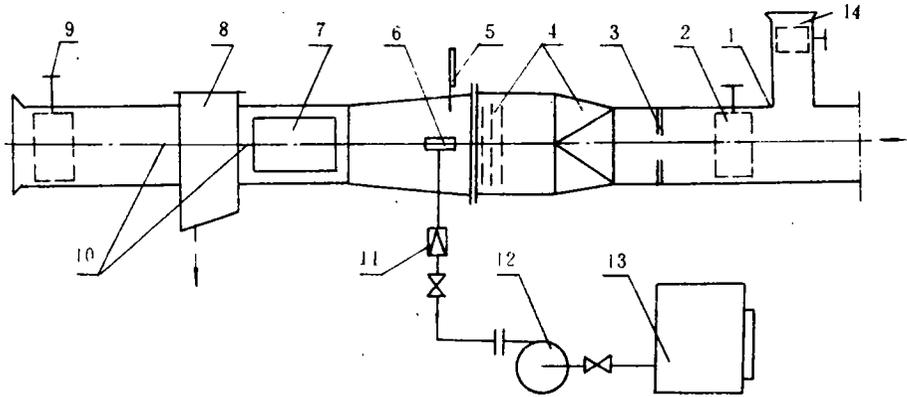


图 1 试验系统简图

1. 风道 2. 前风门 3. 流量孔板 4. 整流段 5. 温度计 6. 喷水头 7. 观察窗
8. 试验段(即元件组) 9. 后风门 10. 阻力测点 11. 流量计 12. 水泵 13. 水箱 14. 旁通风道

窗)就是粘附分离的一种。双相流体通过密集波板时,小水滴粘附在波板表面形成水膜,水膜沿壁流下、疏出,达到分离目的。但当流体速度太大时将导致水膜撕破,水滴重新带出。故卧式波板流通速度控制在 0.1 ~ 0.5 m/s,立式波板控制在 0.3 ~ 1.5 m/s。由于受破膜速度限制,分离元件占地大而金属耗量多。

普通常用波板见图 2。

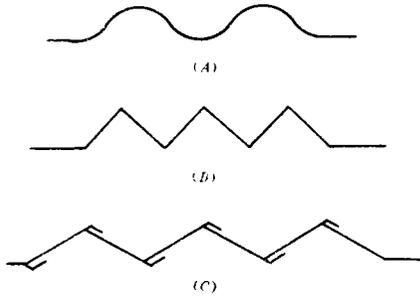


图 2 常用波板图

图 2 中(c)型折形带钩波板使用情况有所改善,通流速度可控制在 2.5 ~ 3.5 m/s 范围内。为进一步提高破膜速度及分离效率,缩小体积,减轻重量,必须要改进分离元件组的技术特性。在试验台上进行了大量的特性试

验,并和其他型式的分离元件进行了对比试验,提出折形圆弧槽口带钩分离元件(见图 3)。此种波板在 4 ~ 5 m/s 通流速度内,分离效率为(98.2 ~ 99.3)%,出口湿度 W,可达到(0.12 ~ 0.19)%。

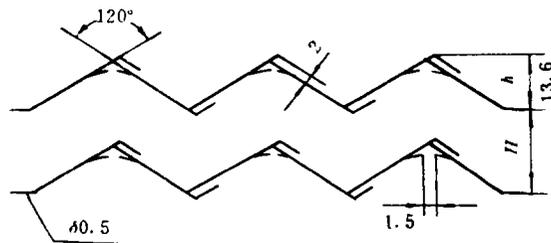


图 3 折形圆弧槽口带钩波板

4 试验元件

新研制的波板和参与对比的波板共分三类:(1)折形波板,(2)折形带钩波板,(3)折形圆弧槽口带钩波板,均为连续四波形,波节距 40 mm,波高 14 mm,两波板间距可调(遮盖率可选择,遮盖率 $\phi = \frac{h-(H+\delta)}{H+\delta} \times 100\%$),在 H 为 9 ~ 17 mm 范围内进行试验分析,

表 1 试验结果综合表*

	折形波板	折形带钩	圆弧槽口带钩
空气量, kg/h	1540.49	1524.55	1556.42
进入分离器水量, kg/h	187.34	178.67	169.96
蒸发水量, kg/h	4.15	2.568	2.482
分离出水量, kg/h	174.49	168.51	162.42
进入湿度, %	10.6	10.3	9.7
出口湿度, %	0.56	0.49	0.32
分离效率, %	94.4	95.7	97.0
分离元件组阻力, Pa	490	588	980

* 流体速度 3 m/s。

表 2 试验结果综合表*

	折形波板	折形带钩	圆弧槽口带钩
空气量, kg/h	2032.3	2027.7	2041.2
进入分离器水量, kg/h	206.35	214.16	225.37
蒸发水量, kg/h	4.17	2.906	2.963
分离出水量, kg/h	188.44	200.8	220.84
进入湿度, %	9.0	9.4	9.8
出口湿度, %	0.67	0.51	0.1
分离效率, %	93.2	95.0	99.3
分离元件组阻力, Pa	980	686	1470

* 流体速度 4 m/s。

发现新型波板间距 $H = 12 \text{ mm}$ 时为最佳距离, 遮盖率为 9.0%, 此时分离效率最高, 出口湿度最小, 试验证明效率达 99.3% 出口湿度在 0.3% 以下。

现场观察疏水情况发现。新型波板中最后一波基本上不起作用, 几乎全部分离液由前三波疏出。由于新型波板内角带槽口圆弧, 内侧水膜沿汽流方向长度缩短, 水又能及时疏出, 水膜较薄也是提高临界破膜速度的主要原因之一。详见本文试验结果综合表和试验曲线。

表 3 试验结果综合表*

	折形波板	折形带钩	圆弧槽口带钩
空气量, kg/h	2533.63	2515.76	2551.5
进入分离器水量, kg/h	270.14	232.3	273.47
蒸发水量, kg/h	4.91	3.088	3.17
分离出水量, kg/h	242.43	215.46	267.30
进入湿度, %	9.5	9.2	9.6
出口湿度, %	0.89	0.54	0.12
分离效率, %	91.4	94.0	98.9
分离元件组阻力, Pa	1667	1078	1961

* 流体速度 5 m/s。

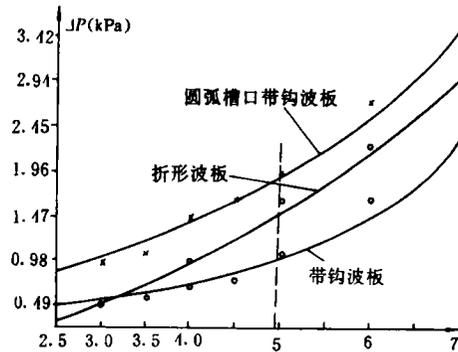


图 4 阻力 ΔP 与入口流速 W 关系曲线

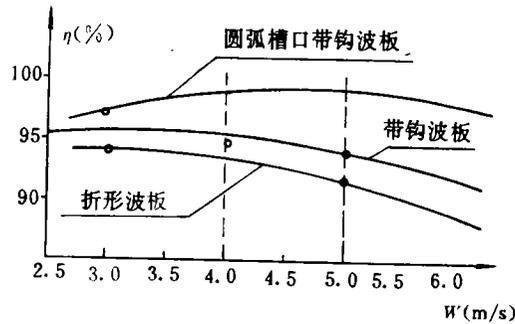


图 5 效率与入口流速 W 关系曲线

5 试验曲线分析与评价

5.1 分离元件组的阻力 ΔP 与入口流速 W 关系曲线

由此曲线可知,入口流速 2.5 ~ 3 m/s 时,分离元件组阻力对比:折形波板 < 带钩波板 < 圆弧槽口带钩波板。入口流速 4.0 ~ 5.0 m/s 时,分离元件组阻力对比:带钩波板 < 折形波板 < 圆弧槽口带钩波板。其中折形波板在速度大于 2.5 m/s 时由于超过临界破膜速度,水膜重新形成水滴,带液滴的流体显然将增加流通阻力。带钩折形波板虽然流速提高,但尚能及时疏出,水膜薄而行程尚短,故阻力增加缓慢。圆弧槽口带钩波板,虽然圆弧起导向作用,但流通截面相应减小,故速度增加时其绝对阻力比前二者有所升高。而压力损失率却小于前二者(通常评定分离器的阻力特性时,用压力损失率表示,即分离器阻力占分离器入口压力的百分比,如一般要求分离器阻力损失不超过进入前流体压力的(3 ~ 5)%。

5.2 分离效率 η 与入口流速 W 关系曲线

三种型式分离元件中,圆弧槽口带钩波板在任何速度区段,都显示出分离效率的优越性,另两种波板其分离效率均随流速增加而有所降低。通流速度在 4 ~ 5 m/s 区间,圆弧带钩槽口波板分离效率可达 99% 以上,且曲线平坦,在一个较宽的范围内效率值变化不大,因此在设计分离设备时有较大的设计裕度。

5.3 出口湿度 W_2 与入口流速 W 关系曲线

只将带钩波板与圆弧槽口带钩波板曲线比较,前者随着通流速度升高,出口湿度逐步增加,后者通流速度在 4.0 ~ 5.0 m/s 范围内出现出口湿度最低值,且小于 0.15%。从曲线可看出,圆弧槽口带钩波板出口湿度在

同样高的通流速度下,比带钩波板低许多。

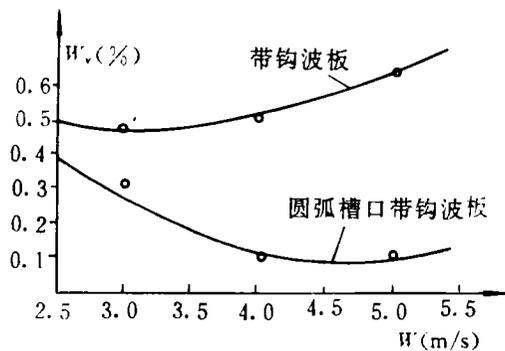


图6 出口湿度 W_2 与入口流速 W 关系曲线

6 结束语

选用新型圆弧槽口带钩波板分离元件,由于元件中破膜速度提高幅度较大,将使分离设备的总通流截面大大缩小,按常规设计,分离器的布置截面可减少(30 ~ 40)%,金属耗量相应大幅度降低,可降低(14.7 ~ 34)%。如果按试验台现场分析结果,分离作用全部由前三波完成。在设计中采用三波折板,金属耗量将进一步减少,这在分离元件的实际选用中是较为可贵的。

参 考 文 献

- 1 西安交通大学锅炉教研室. 工业锅炉. 北京:机械工业出版社,1981. 12
- 2 哈尔滨工业大学热能工程教研室. 锅炉安全基础. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1980
- 3 Moore M J, Sieverding C H, et al. Two-phase steam flow in turbine and separators. Hemisphere Pub. Corp., 1976

作者简介:吕以波,男,1965年生,工程师。1988年毕业于哈尔滨工程大学(原哈尔滨船舶工程学院)机械工程系机械设计专业,现在哈尔滨七〇三研究所工作。

通讯处:150030 哈尔滨 77—3 信箱

Based on years of engineering practice the authors have summed up the design experiences and features of waste-heat recovery boilers for gas turbines, noting that the present technology of home-made waste-heat recovery boilers of gas turbines has already attained a quite advanced level with a strong competitive position on both the domestic and international market. Key words: gas turbine, waste-heat boiler, design features

首座小型天然气发电锅炉的设计与运行 = The Design and Operation of the First Home-made Low-capacity Natural Gas-fired Power Plant Boiler [刊, 中]/Li Zongxi, Liu Wanzhen (Harbin 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(5). -291-296

A brief description is given of the thermodynamic characteristics of a first home-made low-capacity boiler installed in a power station. Also discussed are some specific features concerning the selection of boiler furnace and burners, etc. All the above can provide useful hints for the further improvement of new designs. Key words: boiler, natural gas, combustion, electric power generation

煤及灰辐射特性参数研究 = A Study on Coal and Ash Radiation Characteristics Parameters [刊, 中]/Tang Min (Harbin 703 Research Institute) Ruan Liming, Yu Qizheng, Liu Linhua, Tan Heping (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(5). -297-301

Through the utilization of the transmissivity spectrum of rare-phase homogeneous microparticle dispersion system of three types of Heilongjiang Province coal and its ash, experimentally determined by an infrared spectrophotometer, coupled with the adoption of a highly precise Lorenz-Mie electromagnetic theory and dispersion K-K relation, the authors have made an inverse computation of the basic radiation characteristics parameters (compound refractive index) of microparticles and on this basis determined the decay factor, scattering factor and absorption factor of the said particles. As the only simplification condition of the computation is the extrapolation relation of a limited domain experimental data, the method under discussion in this paper features high precision and a wide applicability. The authors have analysed the effect of transmissivity experimental error on the result of inverse computation and pointed out that the experimental precision of the transmissivity will exercise an influence on the solution of the compound refractive index. Key words: radiation characteristics, Lorenz-Mie theory, microparticle, coal, ash

汽轮机隔板分离器的内流场的数值研究 = A Numerical Study on the Inner Flow Field of a Steam Turbine Diaphragm Moisture Separator [刊, 中]/Luo Chunxin, Sun Xianliang (Harbin 703 Research Institute), Li Xuelai (Dalian University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(5). -302-305

By use of a SIMPLE method a numerical calculation is conducted of the vapor-liquid dual phase flow field in the moisture separator of a steam turbine diaphragm. Also discussed in the paper is the effect of relevant working parameters of such a separator on the moisture removal efficiency. Key words: diaphragm moisture separator, steam turbine, internal moisture removal

新型高效汽水分离元件研究 = A Study on a New Type of High-efficiency Moisture Separating Elements [刊, 中]/Lu Yibo, Ren Abao, Chen Yuxiang (Harbin 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1995, 10(5). -306-309

On the basis of theoretical analyses and experimental tests the authors have proposed a new type of high-efficiency moisture separating elements, which can retain their highly effective moisture separation performance even at an inner flow speed as high as 4.5-5.0 m/s. This makes it possible to considerably reduce the space occupied by the separator and also its metallic material consumption. Key words: moisture separation, test elements, efficiency