文章编号:1001-2060(2007)01-0021-04

叶轴形状对旋风子性能影响的研究

王忠义1,王明新2,孙海鸥1,王 松1

(1.哈尔滨工程大学动力与能源工程学院,黑龙江 哈尔滨 150001;
2.哈尔滨。第七○三研究所 军事代表室,黑龙江 哈尔滨 150036)

摘 要: 对一种高浓度盐雾分离装置— 旋风子进行研究, 并对3种叶轴形状的旋风子进行了额定工况下的数值模拟, 模型一为叶轴形状为空心圆柱形、模型二为细长实心圆台 形、模型三为短粗实心圆台形,给出了相应模型的阻力特性 和不同颗粒直径下的分离效率特性。同时在专门风洞实验 台上进行了3种模型的阻力和分离效率特性实验,实验结果 表明模型二分离效率较稳定,且阻力损失相对也较小,总体 性能优于其它两种形式。将实验结果与数值模拟结果进行 比较,吻合情况良好,为进一步的研究提供了参考资料。

关 键 词: 盐雾分离装置; 旋风子; 叶轴形状; 数值模拟
 中图分类号: TK47; U664.5
 文献标识码: A

引 言

船用燃气轮机的工作工质是空气。由于燃气轮 机的有效焓降比汽轮机小,因此空气流量比较大。 在海洋环境条件下,空气中含有大量的盐分,还含有 油污、沙尘等杂质,这些杂质造成燃气轮机低温部件 的污染和损害。大量盐分(NaCl)的摄入,会在热端 零件表面发生硫化腐蚀现象,严重影响燃气轮机的 性能和工作的可靠性。因此,为保证燃气轮机在海 洋环境条件下的运行性能和可靠性,必须加装盐雾 分离装置。所以研制分离效率高且流动阻力低的盐 雾分离装置一直是国内外造船界和沿海使用燃气轮 为动力的工业界十分关注的重要课题。



图1 旋风子结构示意图

收稿日期: 2006-07-18; 修订日期: 2006-10-24

作者简介:王忠义(1982一),男,黑龙江伊春人,哈尔滨工程大学博士研究生.

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

旋风子是高浓度盐雾分离装置的一种。旋风子 结构如图1所示,它是一种惯性分离器,由8个叶片 均匀分布在叶轴周围形成叶轮,装入外壳里,后端设 有出气喇叭口,并且在外壳底部开有输水口。当空 气流经旋风子叶片时,气流产生旋转,空气中的盐雾 在离心力作用下向壁面运动,大部分被壁面捕集而 形成大的水滴,凝聚的盐水从输水口被排放掉从而 达到滤除盐分的目的。

1 数学模型

对于可压缩的粘性气体,如忽略质量力,则定常的平均Navier-Stokes 方程的无量纲形式为:

$$\nabla^{\circ}(\rho V) = 0 \nabla^{\circ}(\rho VV) = -\nabla_{p} + \nabla^{\circ} \Gamma \nabla^{\circ}(\rho VE) = \nabla^{\circ}[(-pI + \Gamma) \circ V] - \nabla^{\circ} q$$

其中:

$$\Gamma = \frac{1}{Re} \left[-\frac{2}{3} (\mu + \mu_T) (\nabla V) I + (\mu + \mu_T) (\nabla V) + \nabla V^T \right]$$

$$I = \{ \delta_i \}$$

对于可压流,状态方程为: $p/\rho = RT$,式中假设 流体遵从 Fourier 传热定律,则有:

$$E = e + \frac{1}{2} V^{\circ} V, \quad e = \frac{1}{(\gamma - 1)} \frac{p}{\rho},$$
$$q = \frac{c_p}{P R e^k} \nabla T$$

式中: Γ —气体的粘性应力张量; I—二阶单位张 量; μ —气体的动力粘性系数; E—单位质量气体的 总能量; e—单位质量气体的内能; q—气体的热流 量; k—气体的热传导系数; ρ —气体的密度; V—气 体的速度矢量; T—气体的温度; p—气体的压力。 利用无量纲形式 k— ϵ 湍流模型模拟涡旋粘性系数 μ_T , 即可使上述方程组封闭。

2 数值模拟结果

在其它条件不变的情况下共进行3种不同叶轴 形式模型的数值模拟和实验研究。图2为3种模型 的计算域示意图(模型一叶轴为空心圆柱形式、模型 二叶轴为细长形实心圆台形式、模型三叶轴为短粗 形实心圆台形式)。



图 2 3 种模型计算域模型

2.1 气相数值模拟

本文只针对某型船用燃气轮机进行盐雾分离装 置的设计,该型燃气轮机在额定工况下工作时,折合 到每个旋风子的进气质量流量为 0.216 kg/s。

进出口及固壁边界条件给定如下:

进口:进气压力 101 325 Pa,进气温度 300 K,法 向气流方向;

出口:压力出口(试算调整到最终满足额定通流 流量 0.216 kg/s);

固壁:绝热,无滑移。



图 3 模型一纵剖面上速度等值线分布(m/s)

图 3~图 5 给出了 3 种模型纵剖面上的速度等 值线分布图。从图中可以看到,气体经叶片导向产 生旋转,使得空气中的盐雾在离心力的作用下向壁 面运动,从而被壁面捕集,达到分离盐分的目的。



图4 模型二纵剖面上速度等值线分布(m/s)



图5 模型三纵剖面上速度等值线分布(m/s)

3种模型由于叶轴的不同结构带来不同气流阻 力特性,数值模拟计算结果如表1所示。

表 1 阻力特性数值模拟结果

	模型一	模型二	模型三
阻力值/Pa	1 170	935	960



图6 模型一水平截面气溶胶浓度分布(kg/m³)

2.2 离散相数值模拟

在对3种模型气相数值模拟的基础上进行离散

面运动,从而被壁面捕集,达到分离盐分的目的。Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

相的计算。进出口、壁面及叶轮的边界条件给定如 下:

进口:为盐雾气溶胶的入射面,均匀喷射,液滴 的初始速度取为气体的入口速度,颗粒直径相同,颗 粒质量流率以 100 mg/m³ 折算;

出口:设置为 escape 边界条件;

壁面:设置为 escape 边界条件;

叶片:看成壁面,设置成沿切向的 reflect (反射) 边界条件。



图7 模型二水平截面气溶胶浓度分布(kg/m3)



图 8 模型三水平截面气溶胶浓度分布(kg/m³)

雨粉古纪川		效率/ %	
秋松且1空/⊭m	模型一	模型二	模型三
d=5	55.32	55.18	53.35
d=10	64.18	61.63	61.06
<i>d</i> =15	71.27	67.61	66.85
d=20	77.55	73.96	73.68
<i>d</i> = 25	84.00	80.40	79.72
<i>d</i> = 30	89.27	85.24	85.10
<i>d</i> = 35	93.18	89.54	89.80
d=40	95.71	93.18	92.62
<i>d</i> = 45	96.89	94.74	94.15
d=50	97.25	95.66	95.16

表2 效率特性数值模拟结果

图 6~图 8 给出了 3 种模型在额定工况下,液滴 直径为 d_p=25 µm 时气溶胶浓度的分布情况,可以 看出,液体颗粒大多数随着旋转的气流被壁面所捕 捉。说明这种结构的气水分离器能有效地滤除气体 中的液体颗粒。表 2 给出了以数值模拟方法为基 础,利用气粒两相流模型模拟分离效率,考虑气粒两 相间的耦合,采用随机颗粒轨道模型,确定适当的壁 面碰撞条件,计算出的 5~50 µm 范围颗粒尺度内单 弥散气溶胶旋风子分离效率特性。



图 9 实验台布置示意图

3 实验及结果分析

经过数值模拟计算后,对 3 种模型进行实验,实 验台如图 9 所示,分别考查了 3 种模型在额定工况 下的阻力特性和分离效率特性。由于旋风子出口处 流场比较混乱,不适合采样,因此出于稳定流场和保 护风机的考虑,在旋风子后端加装了前惯性级、网垫 级和后惯性级。表 3 ~ 表 5 给出了 3 种模型实验记 录(大气压力为 99 870 Pa,温度为 18 ℃,从表中可 以得到旋风子的阻力特性和盐雾分离装置的总体效 率特性。

表 3 模型一实验件实验数据

盐水喷量	旋风阻力	装置总	前端 Na ⁺	后端Na ⁺	*****
/ml	/Pa	阻力/Pa	$/\mathrm{mg°L^{-1}}$	$/\mathrm{mg^{\circ}L^{-1}}$	XX 平/ 70
1 400	1 200	1 980	191	0.131	99. 931 4
1 400	1 150	1 970	160	0.029	99. 981 8
1 350	1 150	1 970	145	0.016	99. 988 9
1 250	1 180	1 980	89	0.029	99. 967 4
1 170	1 200	2 000	85	0.041	99. 951 7
1 150	1 180	1 960	53	0.045	99. 915 0

4 结 论

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cliki.net

性和盐雾分离装置分离效率的实验研究,验证数值 模拟的结果。表6给出了阻力特性的实验结果与数 值模拟结果和整个盐雾分离装置的效率特性。

表4	模型二实验件实验数据
----	------------

盐水喷量 /ml	旋风阻力 /Pa	装置总 阻力/ Pa	前端Na ⁺ /mg°L ⁻¹	后端Na ⁺ /mg°L ⁻¹	效率/ %
900	950	1 6 5 0	65	0.035	99.787 9
1 200	950	1 6 5 0	92	0.058	99.937 0
1 600	900	1 7 10	120	0.052	99.9567
1 400	920	1 7 00	105	0.052	99.950 5

表5 模型三实验件实验数据

盐水喷量	旋风阻力	装置总	前端Na ⁺	后端Na ⁺	效率/ %
/ ml	/Pa	阻力/Pa	∕mg°L ^{−1}	/ mg °L ^{−1}	
1 180	1 050	1760	89	0.087	99.902 2
1 000	1 050	1770	105	0.127	99.879 0
650	1 050	1 7 70	111	0.125	99.887 4
1 200	1 050	1770	117	0.071	99.939 3
1 050	1 050	1 7 70	63	0.075	99.881 0

表6 实验结果统计

	阻力		
	计算值/Pa	实验值/ Pa	- XX 1 7 1 1 / %
模型一	1 170	1 178	99.9560
模型二	935	930	99.908 0
模型三	960	1 050	99.8978

从图表统计中可以看出:叶轴为实心圆台形模型(模型二和模型三)的阻力特性要低于叶轴为空心圆柱形的模型(模型一),而叶轴同为实心时,叶轴相

对较长的模型二阻力要低于叶轴较短的模型三。

实验过程中改变喷雾器雾化状态进行实验,通 过对实验数据分析可知,虽然实心圆台型叶轴的效 率低于空心圆柱型叶轴,但其后端值的稳定性要好 于模型一空心圆柱型叶轴。原因在于空心圆柱型叶 轴实验件的导流效果差些,而圆台型叶轴能起到沿 锥面的较好导流作用,使气流较为稳定,达到气水分 离的稳定效果。通过图表反映出模型一的分离效率 高于模型二和模型三,而模型二与模型三的分离效 率值相差不大,对比数值模拟单弥散粒径分布的效 率可以看出这种特点是相符合的。

综上所述,结合效率与阻力特性,叶轴为实心圆 台形式的旋风子其采样管后端测量值比较稳定,对 颗粒的适应性要好于叶轴为空心圆柱形式的旋风 子,且阻力特性相对也较小。3种模型中,模型二的 阻力最小,而分离效率也到达了较高值,因此模型二 的结果相对另外两模型综合特性更好一些。数值计 算得到的3种模型过滤效率的大小趋势与实验结果 相吻合,说明以数值模拟方法对旋风子分离效率特 性进行预测是可行和有效的。

参考文献:

- [1] 刘顺隆, 孙海鸥, 张天野. 转折角对气水分离器惯性级阻力影响
 的数值模拟[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2000, 21(3): 39-41.
- [2] 魏志军,张 平. 旋风分离器气相流场的数值模拟[J]. 北京理 工大学学报, 2000, 20(5): 561-564.
- [3] 周力行. 湍流气粒两相流动和燃烧的理论与数值模拟[M]. 北京,科学出版社, 1994.
- [4] LIM K S, KWON S B, IEE K W. Characteristics of the collection efficiency for a double inlet cyclone with clean air[J]. Aerosol Science, 2003, 34: 1085-1095.

(何静芳 编辑)

工艺技术

水热力除氧工艺的改进

据《Теплюзне Ретика》2006年5月号报道,水热力除氧工艺的改进是俄罗斯乌里扬诺夫斯克国立技术大学热能动力系统和 装置科学研究实验室工作主要方向之一。

火力发电站工作的可靠性在很大程度上取决于水的质量,水是在热能动力装置中得到最广泛应用的载热体。由于减少 了腐蚀磨损,水除氧提高了设备和管道的可靠性和寿命。

提供了现代的喷射-鼓泡式除氧器工业试验研究的结果。证明了在 0.07 kg/t的余汽耗汽率下保证水标准质量以及在被除氧水中达到极其低的残余含氧量的可能性。构建热力除氧过程多因素的数学模型。制定了在热能动力装置中热力除氧器 能量高效的运行工艺。介绍了热力除氧器控制的工艺规程。

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

used separately. In addition, one can also effectively solve such problems as a partial optimization solution and low calculation efficiency, associated with the process of multi-target project searching. The method under discussion can significantly raise the calculation efficiency and efficaciously reduce shafting regulation work load when applied to the parameter analysis of various alignment versions for the shafting of a turbine rotor system, providing a technical safeguard for achieving an ahead-of-schedule reassembly and put-into-operation of steam turbine units. **Key wrods**: turbogenerator unit, rotor alignment parameter, numerical analysis method, optimization of bearing bush adjustment scheme, genetic algorithm

流体静压型指尖密封数值仿真分析=A Numerical Simulation Analysis of Hydrostatic Fingertip Seals[刊,汉]/WANG Xu (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036), YUE Guo-qiang, ZHANG Wenping, ZHENG Qun(College of Power and Nuclear Energy Engineering under the Harbin Engineering University, Harbin, China, Post Code: 150001)// Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2007, 22(1). - 15~20

On the basis of analyzing advantages and disadvantages of contact type fingertip seals and hydrodynamic type ones, the authors have presented a hydrostatic fingertip seal and with this type of seal serving as an object of study, established a mathematical model and calculation method for analyzing fluid-solid interaction in the hydrostatic fingertip seals. A numerical calculation and analysis were conducted by taking account of the main factors influencing the leakage and deformation of the above-mentioned seals. The calculation results indicate that the above-mentioned seals enjoy such merits as a small deformation and low leakage. Seal clearance is a main factor influencing the leakage with the circumferential leakage accounting for a major one. The smaller the clearance, the more conspicuous the circumferential leakage. When the pressure difference is constant, the smaller the clearance, the greater the deformation and stress of the hydrostatic pad. When the clearance is constant, the bigger the pressure difference, the greater the deformation and stress of the hydrostatic pad. Key wrods: hydrostatic pressure, fingertip seal, fluid-solid coupling, leakage

叶轴形状对旋风子性能影响的研究= Research Findings Concerning the Effect of Axle Shapes on the Performance of Cyclone Separators[刊,汉] / WANG Zhong-yi, SUN Hai-ou, WANG Song (College of Power and Energy Engineering under the Harbin Engineering University, Harbin, China, Post Code: 150001), WANG Ming-xin (Naval Representative Office Resident in Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036)// Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2007, 22(1). -21~24

The authors have studied a kind of high-concentration salt-mist separating device-cyclone separator, and numerically simulated under rated operating conditions three models of cyclone separators featuring three axle shapes, namely, 1. hollow cylinder shape, 2. slim solid truncated cone shape and 3. podgy solid circular truncated cone shape. The drag force characteristics of the corresponding models and their separation-efficiency characteristics at different particle diameters have been given. Meanwhile, on a specialized wind tunnel test rig, drag force and separating efficiency characteristics of the three models were also tested. The test results show that model No. 2 has a relatively stable separating efficiency and a comparatively small drag-force loss with its overall performance being better than that of the other two models. When comparing the test results with the numerical simulation ones, one can find that they are in good agreement, thus providing reference data for further investigations. **Key wrods:** salt mist separating device, cyclone separator, axle shape, numerical simulation

一种基于数据挖掘的入炉燃料发热量在线智能软诊断方法研究=A Study of the Method for an On-line Intelligent Soft Diagnosis of In-furnace Fuel Low Heating Values Based on Data-mining 刊,汉] / LI Bi-cheng (Guangdong Province Yuedian Group Zhuhai Power Station, Zhuhai, China, Post Code: 519050), SHENG Sai-bin (Automation Department, Wuhan University, Wuhan, China, Post Code: 430072)// Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2007, 22(1). - 25~28

Coal quality fluctuations in many Chinese coal-fired power plants have posed a serious threat to boiler stable combustion and safe operation. The main contradiction lies in an excessively low heating value of fuel. Taking account of the charac-