

应用正交试验法进行惯性粒子分离器结构优化

孙亮亮, 王彤

(上海交通大学 燃气轮机研究院, 上海 200240)

摘要: 采用正交试验的原理和数值模拟方法对某一惯性粒子分离器进行了试验和模拟, 研究了惯性粒子分离器结构参数对粒子分离器分离效率以及总压损失的影响。由正交试验设计方法得到了粒子分离器的优化结构, 结果表明: 与原模型相比, 优化后模型气固分离效率有了明显的改善, 尤其是对于小粒径颗粒, 在进口速度 40 m/s 的工况下, 当粒子直径为 20 μm 时, 分离效率由 76.5% 提升至 99.55%; 而对于 30 μm 颗粒, 则可以实现全部分离的效果, 对于其它工况和粒径情况, 气固分离效率也有不同程度的提升。

关键词: 正交试验; 惯性粒子分离器; 分离效率; 数值模拟

中图分类号: TM611.3 文献标识码: A
DOI: 10.16146/j.cnki.rndlge.2016.04.006

引言

无预旋 IPS(惯性粒子分离器)通常作为直升机进气道与涡轴发动机进口直接装配在一起。直升机使用运行环境的特点决定了吸入发动机的空气中可能会含有尘土、杂草甚至飞鸟等, 这无疑会产生发动机叶片损坏、流道磨损和功率下降等一系列问题。而无预旋 IPS 不带任何导向叶片, 具有总压损失小、可以有效持续分离砂尘等优点而被广泛使用^[1]。国外从 20 世纪 70 年代开展对惯性粒子分离器的研制工作, 如 Robert 进行了一系列设计和研究工作, 包括流道设计及改进, 预旋叶片设计以及外围蜗壳设计^[2]; Breitman 则采用有限元数值分析方法给出不同粒径颗粒的分离效率, 研究了不同形状的分流舌附近流场的变化, 并进行了一系列的分离效率试验研究和测试数据分析^[3]; Zedan 采用数值模拟和性能测试对粒子分离器效率进行研究, 数值模拟结果与性能测试得到的结果吻合^[4]; Farooq 则分析了

多元素翼型配置对分离效率可能产生的影响, 考虑了不同来流角度产生的影响, 并进行了详细的数值模拟分析^[5]; 国内从 90 年代末开始进行相关研究, 如候凌云等人分别对二维和三维结构的 IPS 进行了数值模拟^[6]; Floria P 等利用高速摄影 CCD(电荷耦合器件)相机捕捉到了清除流道入口处回流涡的存在, 通过根据数值计算对流道进行改进^[7]; 高彬彬根据 IPS 流道的特点建立了流道参数化模型, 并通过数值计算进行了流道的优化^[8]。

上述研究一般主要集中在清除流比、粒子进口角度及出口总压畸变系数等参数对气固分离效率影响方面, 有关流道特定的几何参数对于上述参数的影响, 以及由此导致的气固分离性能则有待深入研究。若要全面研究各个流道几何参数对气固分离性能的影响规律, 并由此得到其优化结构, 需要进行大量的实验和测试工作。

本研究首先通过激光测速方法得到模型通道的流动特征, 对比数值模拟结果验证了数值算法的可靠性。在此基础上选用正交试验设计方法, 选出有代表性的试验点来进行性能模拟, 用部分试验代替全面试验^[9]。有效试验点的选择与测试能够大大减少试验工作量并能得到各参数之间的相互关系。

1 粒子分离器模型

图 1 为惯性粒子分离器结构示意图, 其流道特征是壁面带有曲率和采用分离舌将流道分为主气流通道和清除流通道, 其几何结构总体为一个回转通道, 包含一个进口通道, 两个出口通道, 对应主气流通道和清除流通道。主气流通道中期望是除去了砂尘的清洁空气, 并与发动机相连, 而清除流通道则用

收稿日期: 2015-11-06; 修订日期: 2015-12-21

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51276108)

作者简介: 孙亮亮(1990-), 男, 安徽芜湖人, 上海交通大学硕士研究生。

来收集沙尘等固体颗粒物。整个流道的型线以及分离舌结构位置等决定了分离效率的高低以及总压损失的大小。入口带有沙尘的空气经过流道,在离心惯性力的作用下,带有绝大多数颗粒的气流会流向清除流通道。

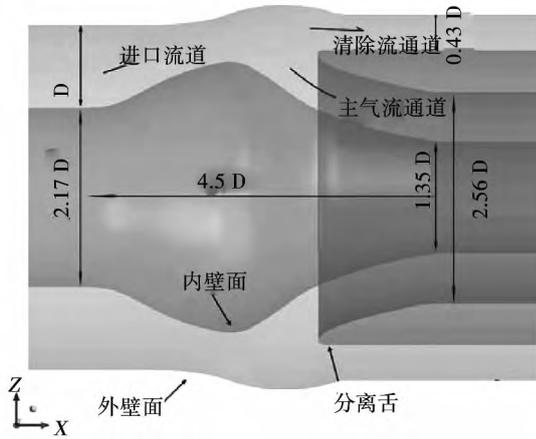


图 1 粒子分离器对称面流动示意图

Fig. 1 Flow schematic of symmetry plane of inertial particle separator

2 数值模拟及实验验证

2.1 网格划分

测试通道三维建模在画网格软件 ICEM(画网格软件)中生成网格,进口延长 2.5 D 长度,出口延长 4.5 D 长度以减少进出口边界条件对数值模拟的影响。整个计算区域采用六面体网格单元进行填充,并对变化比较剧烈的地方进行局部加密。在某工况下网格数经过了无关性验算,如表 1 所示。

表 1 网格无关性验证

Tab. 1 Verificaiton of grid independence

网格数/万	监测点 1:	偏差百分比/%	监测点 2: 出口	偏差百分比/%
	界面绝对压力/Pa		质量流量 /kg · s ⁻¹	
13	103 080	—	-2.970 479	—
30	103 230	-0.15	-3.015 590	-1.4
85	102 880	0.34	-3.049 339	-1.1
122	102 910	-0.029	-3.050 979	-0.053
177	102 830	-0.078	-3.052 152	-0.038

经过验算最终确定通道模型内网格总数为 120 万左右,对每个模型的网格画法一致。图 2 为粒子

分离器模型的网格。

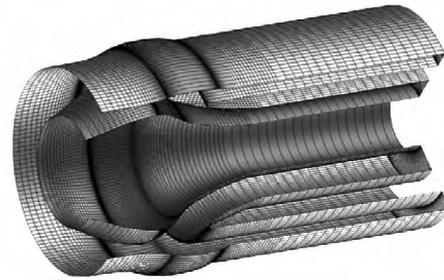


图 2 粒子分离器计算网格

Fig. 2 Computational grids for inertial particle separator

采用 CFX(流体力学仿真软件)进行数值模拟,计算湍流模型选取 *k-e* 模型,壁面采用壁面标准函数,保持近壁面网格尺度 y^+ 在 30 ~ 100。计算中所用到的边界条件类型有压力进口边界,质量流量出口边界以及无滑移绝热固壁边界。

由于本模型在实际应用中粒子颗粒的体积分数远小于流体的体积分数,所以忽略颗粒间的碰撞、破碎等相互作用,只考虑气相对固相的影响。选取连续相的湍流模型采用双方程模型,离散相采用零方程模型^[10],离散相的壁面采用自由滑移壁面条件。颗粒被处理为球形,反弹无损失。

2.2 模型实验验证

为了验证上述选取算法模拟的可靠性与正确性,对该模型进行了气动实验及其流场测量。

采用 PIV(粒子图像测速法)测试所用是原环形轴对称模型,考虑到测试截面拍摄和分析的需要,将原环形轴对称流通截面简化为矩形截面。整个模型采用透明有机玻璃制作,如图 3 所示。流道拍摄截面与图 1 的通道相同, $H = D$ (图 1 中流道径向宽度) $L = 90 \text{ mm}$ 为模型高度。

惯性粒子分离器中清除流比 *SCR*, 定义为:

$$SCR = \frac{M_{\text{清除流通道}}}{M_{\text{主气流通道}}}$$

式中: M —不同流道的出口质量流量, m^3/h , 对应清除流通道流量与主气流通道流量比值。

实验工况为:主气流通道流量为: $425 \text{ m}^3/\text{h}$, 清除流通道流量为 $71 \text{ m}^3/\text{h}$, 检验实验中气体管路密封性,进口流量计与两个出口流量计误差小于 3%, 在可接受范围内。拍摄截面为流道正中间即距离侧壁面 $L/2$ 处, PIV 设定跨帧延时 $40 \mu\text{s}$, 两个激光频

率为 5 Hz。

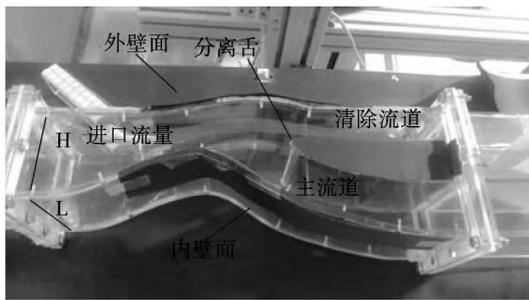


图 3 粒子分离器实验实物模型

Fig. 3 Real model of inertial particle separator

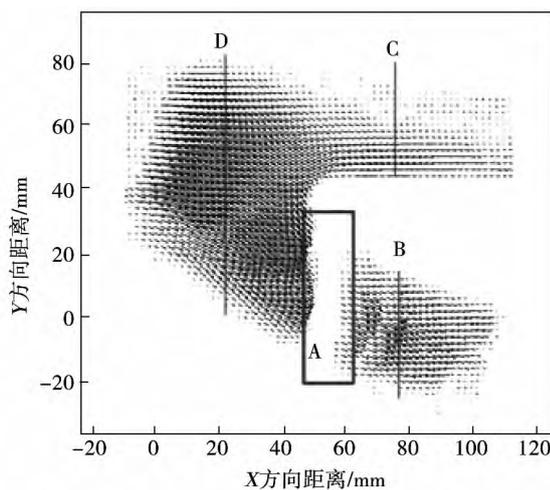


图 4 速度矢量图

Fig. 4 Velocity vector

采用丹迪公司的 PIV 测试系统,PIV 系统的激光器为双谐振脉冲式 Nd:YAG 激光器,激光脉冲最高频率为 20 Hz,每个脉冲能量 200 mJ,激光波长 532 nm(绿光),片光源厚度约为 1 mm。CCD 相机像素为 2048 × 2048。实验得到的多幅图片经过互相关及后处理得到平均速度矢量结果,如图 4 所示。其中 A 处由于有机玻璃加工误差造成图中区域无法处理得到速度矢量。将 B、C、D 处的水平和垂直速度分量值与此模型在 CFX 中利用上述选取算法计算所得结果依次进行对比。

对应图 4 中的坐标方向,图 5 中的水平分量为图 4 速度矢量在 X 轴上的速度分量,垂直分量为在 Y 轴上的速度分量,图中的无量纲宽度定义为各任意点距离比上该直线的长度,无量纲速度定义为各速度分量比上分离器进口绝对速度 U_{in} 。通过实验得到流场数据,与数值模拟结果对比,在图 5 中发现

除了在 C 处因有回流涡存在而导致二者差别较大,在其他各位置,速度分布的整体趋势上,数值模拟结果与实验测试结果差别不大,说明数值计算方法可靠,其结果可用于该流场的性能分析,并为正交试验提供依据。

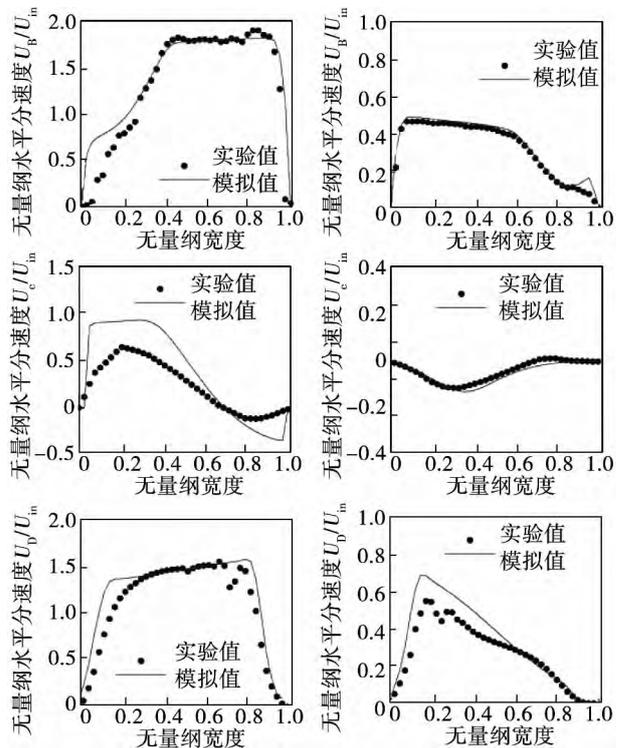


图 5 线速度对比

Fig. 5 Comparison of velocity profiles

3 分离器优化

3.1 正交试验设计

惯性粒子分离器流道几何参数设计如图 6 所示,保持进出口装配参数不变,同时内壁面最高点水平位置不变,正交试验选定图 6 所列 a、b、 h_1 、 h_2 和 α 为可变结构参数变量。

在图 6 中 h_1 为内壁道高度, h_2 为距离进口平直高度, μ 为分离舌到内侧最高处竖直基准线的距离, b 为上壁面最高点到内侧最高处竖直基准线的距离。 α 为分离舌与水平的夹角。由于模型设计参数较多,流道的不同型线参数相互影响,为简单起见,外壁面型线只在固定长度 L_1 的范围内变化,内壁面型线只在固定长度 L_2 的范围内变化,分离舌角度在 L_3 固定长度内变化。由于型线的变化非常复杂,本

文内的 L_1 、 L_2 、 L_3 表示变化范围限定在 L 长度的起始点,在型线的投影长度 L 外保持原来的型线。确定不同的参数组合方案后,整个型线可以采用 3 次样条曲线连接,以保证与原来接口处光滑过渡。在正交试验中,在确定各个参数变量之后,可选取每个参数组合方案,表 2 为粒子分离器参数方案表。在表 2 中,每个参数均包含 4 种取值。根据 4 方案 5 参数正交表,可以获得需要计算的 16 种组合即 L_{16} (4^5)。值得注意的是, h_1 的方案 3 表示了外壁面型线最高点和分离舌上表面位置齐高。

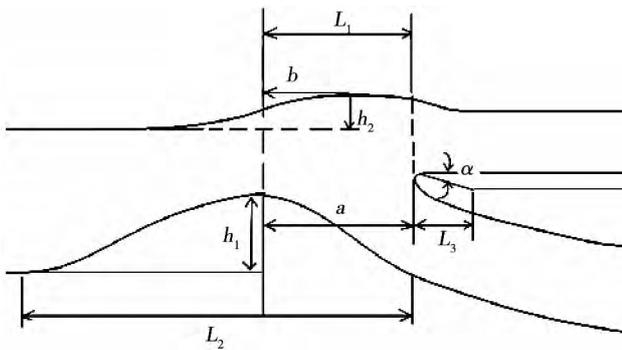


图 6 流道结构参数

Fig. 6 Parameterized dimensions of flow passage geometry

表 2 正交试验中结构参数设置

Tab. 2 Settings of geometric parameters in orthogonal experiment

试验因素号	试验因素	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4
A	h_1 /mm	43.02	47.02	51.02	55.02
B	h_2 /mm	19.766	23.766	27.766	31.966
C	a /mm	89.619	85.619	81.619	77.619
D	b /mm	53.013	50.013	47.013	44.013
E	α /($^\circ$)	0	10	20	30

在数值模拟中主要研究结构参数的影响,故可将清除流比设为定值,取 SCR 为 0.167,进口速度为 40 m/s。

采用稳态模拟方法,计算域为整个流动通道模型,流体介质采用气相和颗粒相的混合模型,气相为 25 $^\circ\text{C}$ 的空气。由于固相浓度低,颗粒属性为颗粒传输,颗粒耦合选择单向耦合。颗粒密度为 2 650 kg/m³,在 1 ~ 120 μm 选取 9 种典型颗粒粒径,颗粒进气速度接近工况下的进气速度,散播浓度为相应工况质量流量的 1%,进口截面均匀撒播。

3.2 试验指标

试验指标需要综合考虑气固分离效率和气流的进气压力损失。各粒径颗粒的分离效率分析,考虑到试验工作量,选取较为典型的 3 种粒子直径,分别为 2、30 和 120 μm 。其中各粒径分离效率计算公式为:

$$\eta_{di} = \frac{\sum N_{di-pout}}{\sum N_{di-in}}$$

式中:下标 di —不同粒径的直径, μm ; $pout$ —从清除流道收集到的粒子; in —从进口流入的粒子。

3.3 约束条件

进气压力损失是衡量该装置经济性的重要指标之一,以压力损失系数来衡量,其计算公式为:

$$\bar{p} = \frac{\Delta p}{p_{in}}$$

式中: Δp —进口与主气流道出口的总压损失大小, Pa; p_{in} —进口总压, Pa。 \bar{p} —本研究中的约束指标为小于 5%。

3.4 试验结果

3.4.1 不同粒径分离效率正交试验结果

根据分离器模型内部结构 16 种组合的数值模拟结果,采用极差分析法可以获得关于不同试验指标的最终正交试验结果,在表 3 中为对应 30 μm 时的分离效率试验结果,其中 K_i ($i=1, 2, 3, 4$) 为各参数 i 方案所对应的相应指标之和, k_i 为各个参数方案和 K_i 所对应的平均值, $\text{Min}(k_i)$ 和 $\text{Max}(k_i)$ 分别为各参数 k_i 的最小值和最大值。可以得到关于小粒径 30 μm 级别的优化组合为 $A_4B_3C_4D_2E_2$,从极差大小可以看出因素 A 即内壁道高度的影响远远超过其它因素,且对应分离效率的大小与高度的增加呈现正相关。

按照上述的计算公式可以得到关于 2 μm 级别粒子分离效率的试验结果如表 4 所示。

从表 4 的数据可以看出,尽管 A 因素的极差相比其它几个因素大一个数量级,但整个波动范围很小,实际分离效果改善不明显,这与较小粒径跟随性较好,主要受 SCR 的影响造成。

对比较典型的大粒径 120 μm 的分离效率正交试验结果如表 5 所示。

对于 120 μm 粒径的粒子,由于粒径较大,惯性力占主要因素,分离效率主要由流道型线决定。故上述参数的改变,并不能得到其影响分离效率的主

要因素及其变化规律,这也可以从各参数的极差大小数量级和数值大小接近得到验证。

表 3 30 μm 粒径正交试验结果

Tab.3 Orthogonal experiment results with 30 μm particle diameter

名称	A	B	C	D	E
K_1	3.391 5	3.793	3.787 5	3.794	3.787
K_2	3.792	3.796 5	3.801 5	3.796	3.803 5
K_3	3.999 5	3.798	3.790 5	3.796 5	3.790 5
K_4	4.000	3.7955	3.803 5	3.796 5	3.802
k_1	0.847 875	0.948 25	0.946 875	0.948 5	0.946 75
k_2	0.948	0.949 125	0.950 373	0.949	0.950 875
k_3	0.999 875	0.949 5	0.947 625	0.949 125	0.947 625
k_4	1	0.948 875	0.950 875	0.949 125	0.950 5
Min(k_i)	0.847 875	0.948 25	0.946 875	0.948 5	0.946 75
Max(k_i)	1	0.949 5	0.950 875	0.949 125	0.950 875
极差 R	0.152 125	0.001 25	0.004	0.000 625	0.004 125
主次顺序	A > E > C > B > D				
优化方案	A ₄	B ₃	C ₄	D ₂	E ₂
优化组合	A ₄ B ₃ C ₄ D ₂ E ₂				

表 4 2 μm 粒径正交试验结果

Tab.4 Orthogonal experiment results with 2 μm particle diameter

名称	A	B	C	D	E
k_1	0.170 15	0.178 125	0.175 375	0.178 5	0.177 375
k_2	0.175 75	0.177 75	0.178 125	0.175 85	0.176 5
k_3	0.178 875	0.177 25	0.178	0.176 5	0.177 625
k_4	0.183 75	0.176	0.177 625	0.175 625	0.177 625
极差 R	0.013	0.002 125	0.002 75	0.002 875	0.001 125
主次顺序	A > D > C > B > E				
优化方案	A ₄	B ₁	C ₃	D ₂	E ₃
优化组合	A ₄ B ₁ C ₃ D ₂ E ₃				

表 5 120 μm 粒径正交试验结果

Tab.5 Orthogonal experiment results with 120 μm particle diameter

名称	A	B	C	D	E
k_1	0.798	0.818 375	0.789 625	0.795 75	0.790 5
k_2	0.831 75	0.812 5	0.811 75	0.777 5	0.810 5
k_3	0.839 375	0.831 125	0.809 75	0.834 75	0.833 125
k_4	0.777 625	0.784 75	0.835 625	0.838 75	0.832 625
极差 R	0.061 75	0.046 375	0.046	0.061 25	0.042 625
主次顺序	A > D > B > C > E				
优化方案	A ₃	B ₃	C ₄	D ₄	E ₃
优化组合	A ₃ B ₃ C ₄ D ₄ E ₃				

3.4.2 主气流通道进气压力损失正交试验结果

主气流通道直接与直升机发动机相连,要求从进口到主气流道出口的总压损失越低越好。表 6 中采用总压损失系数来比较,数值越大,代表损失越大。

表 6 主流通道总压损失正交试验结果

Tab.6 Orthogonal experiment results of core flow total pressure loss

名称	A	B	C	D	E
k_1	0.003 839	0.004 197	0.004 029	0.004 209	0.004 192
k_2	0.004 08	0.004 183	0.004 188	0.004 23	0.004 106
k_3	0.004 389	0.004 299	0.004 299	0.004 12	0.004 233
k_4	0.004 491	0.004 12	0.004 334	0.004 239	0.004 267
极差 R	0.000 652	0.000 179	0.000 305	0.000 119	0.000 161
主次顺序	A > C > B > E > D				
优化方案	A ₁	B ₄	C ₁	D ₃	E ₂
优化组合	A ₁ B ₄ C ₁ D ₃ E ₂				

从表 6 中的数据可以看出,内壁道高度为主要因素,其次为分离舌到内壁道最高点的距离。试验发现,内壁道高度的增大,进气压力损失也随之变大,分离舌越靠近内壁道最高点,进气压力损失也随之变大。这是由于这两个参数直接影响进口到主流通道面积的变化规律,从而会影响气流进气损失。

3.5 优化结构

综合考虑正交试验的结果,发现不同粒径颗粒的分离效率最优参数组合不同,需要进行协调,小粒径 2 μm 颗粒的分离效率,其参数组合引起的分离效率变化很小,仅在 17% ~ 18% 之间;而对于大粒径如 120 μm 级别的颗粒,各个参数之间的影响差别很小,大粒径的分离效率主要与其惯性力以及流道型线有关,需要有针对性的在较小粒径颗粒的优化基础上通过改变型线来达到分离效率的提高。综合考虑总压损失和 30 μm 颗粒分离效率,选择 A₃B₁C₂D₁E₁ 组合。

4 结果分析与结论

结构参数组合 A₃B₁C₂D₁E₁ 中: $h_1 = 51.02 \text{ mm}$, $h_2 = 19.766 \text{ mm}$, $a = 85.619 \text{ mm}$, $b = 53.013 \text{ mm}$,

$\alpha = 0^\circ$ 。通过对具体关键参数重新构造惯性粒子分离器模型并进行数值模拟计算。

为直观看出生效率的变化,在这里给出进出口速度 $2U_{in} = 40 \text{ m/s}$, $SCR = 0.167$ 下的 $10 \sim 30 \mu\text{m}$ 3 种粒子分离轨迹对比图 7,图中黑色线代表粒子的运动轨迹,右上角内圈为主气流通道,进入内圈流道粒子数越多,代表分离效率越低,图中可以直观看出生效率差别。经过计算,优化的结构在粒子直径 $20 \mu\text{m}$ 时,分离效率相比原来的 76.5% 提升至 99.55% ,而在 $30 \mu\text{m}$ 时,分离效率原模型则由 84.25% 提升为 100% ,其它速度工况下的其它各级粒径分离效率如图 8 所示,图中实线表示改进后的结构下分离效率,选取几种不同速度梯度下对比,可以发现,不同进口速度下不同粒径的分离效率都有一定的提高。

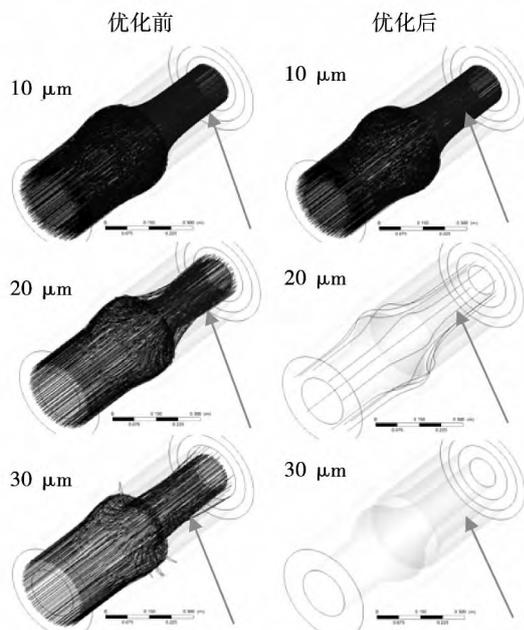


图 7 粒子分离对比图
Fig. 7 Particle separation comparison

与原模型相比,改进后的模型粒子分离效率大为提高,进气总压损失对比数据如表 7 所示。改进后的模型在不同速度工况下对应的总压损失最大仅有 10% 的增加,这主要是由于内壁道的提升喉部面积减小所致,但在最大速度工况下总压损失系数也不到 1% ,相比粒子分离效率的提升,改进后模型是可以接受的。

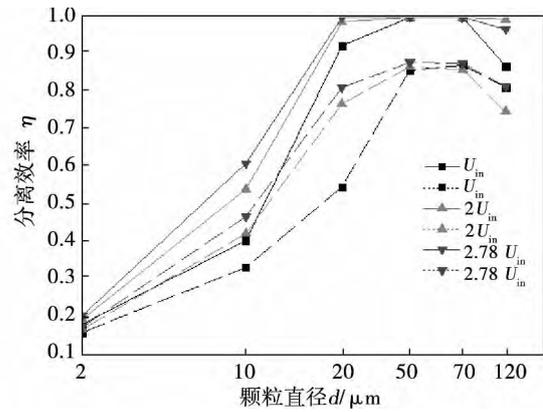


图 8 粒子分离效率随各级粒径的变化
Fig. 8 Particle separation efficiencies with different particle sizes

表 7 总压损失系数 \bar{p}

Tab. 7 Coefficient of total pressure loss

	原模型	改进模型
$0.36U_m / 1\%$	0.12	0.126
$0.72U_m / 1\%$	0.463	0.486
$2.78U_m / 1\%$	0.889	0.975

由于以上试验中,发现内壁道高度在各个指标上影响因素最大,为了探究使分离效率提升,进一步分析了内壁道高度的影响。图 9 为 $30 \mu\text{m}$ 的粒子轨迹图。黑色曲线为原模型中未分离的粒子轨迹 (h_1 方案 1),经过优化后,这些颗粒全部全部进入清除流道 (h_1 方案 3)。

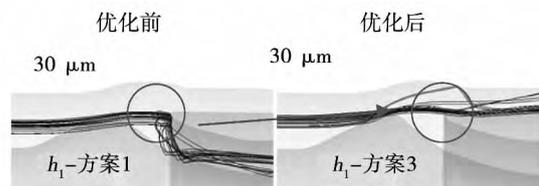


图 9 30 mm 粒子轨迹图
Fig. 9 Trajectory of 30 mm particle

由图 9 可见,提升内壁道高度之后,贴近内壁道顶端的粒子被进一步提升,有更大的几率进入清除流道,从而使较小粒径的分离效率得以有效提升。

5 结 论

本研究在实验验证数值模拟方法可靠后采用数值模拟对某惯性粒子分离器利用正交试验的方法进行了结构优化, 获得了不同参数下最优组合以及不同参数对惯性粒子分离器性能影响的优劣排序。结果表明, 优化后的粒子分离效率显著提升, 正交试验可以作为优化惯性粒子分离器一种手段。主要影响参数分析如下:

(1) 提高内壁道的高度, 可以显著提升 10 ~ 30 mm 粒子分离效率, 从计算结果看, 建议内壁道高度不低于分离舌上表面的高度;

(2) 改变流道分离舌附近结构参数, 对于 2 mm 级别的小粒径粒子分离效率改善作用不大, 其主要原因在于粒径越小, 粒子跟随性越好, 清除流比决定了小粒径颗粒的分离性能;

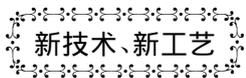
(3) 外壁道高度及水平位置和分离舌倾角在本次试验中影响因素很小, 相对于内壁道高度影响, 参数的变化对试验结果影响可以忽略。

参考文献:

- [1] 唐 静. 粒子分离器试验器某关键件的设计 [D]. 上海: 上海交通大学, 2008 年.
TANG Jing. Design for critical parts of IPS [D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2008.
- [2] Robert JD, Bernard FS. Integral engine inlet particle separator: volume II design guide [R]. USAAMRDL-TR-75-31B, 1975.
- [3] Breitman DS, Dueck EG, et al. Analysis of a split-flow inertial particle separator by finite elements [J]. Journal of Aircraft, 1985, 22(2): 135-140.

- [4] Zedan M, Hartman P, Mostafa A, et al. Viscous flow analysis for advanced inlet particle separators [R]. AIAA-90-2136, 1990.
- [5] Farooq S, Ahmad ZA. Analysis method for inertial particle separator [J]. Journal of Aircraft, 2007, 44(4): 1150-1158.
- [6] 侯凌云. 直升机粒子分离器两相流场的数值模拟 [D]. 西安: 西北工业大学, 1998.
HOU Ling-yun. Numerical simulation of the two-phase flow field inside a particle separator of a helicopter [D]. Xi'an: North-western Polytechnical University, 1998.
- [7] Floria Paoli, 傅 耀, 王 彤, 谷传纲. 发动机入口粒子分离器流场数值模拟及流道改进 [J]. 流体机械, 2011, 39(4): 10-16.
Floria Paoli, FU Yao, WANG Tong, GU Chuan-gang. Improvement method of an inlet particle separator based on streamlines analysis [J]. Fluid Machinery, 2011, 39(4): 10-16.
- [8] 高彬彬, 王 彤, 傅 耀, 等. 惯性粒子分离器流道型线分析与改进 [J]. 热能动力工程, 2012, 27(5): 566-570.
GAO Bing-bing, WANG Tong, FU Yao, et al. Analysis and improvement of the profile of an inertia particle separator [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2012, 27(5): 566-570.
- [9] 刘瑞江, 张业旺, 闻崇炜, 等. 正交试验设计和分析方法研究 [J]. 实验技术与管理, 2010, 27(9): 52-55.
LIU Ru-jing, ZHANG Ye-wang, WEN Chong-wei, et al. Study on the design and analysis methods of orthogonal experiment [J]. Experiment Technology and Management, 2010, 27(9): 52-55.
- [10] Barone D, Hawkins J, Loth E. Efficiency of an inertial particle separator [R]. In 51st AIAA Aerospace Sciences Meeting, no. AIAA 2013-1080, 2013.

(姜雪梅 编辑)



韩国引领亚太燃天然气的船舶项目

据《Motor Ship》2014 年 12 月刊报道, 韩国船级社声称它正与亚洲-太平洋经济合作组织秘书处合作来促进在 APEC(亚太经合组织)地区使用燃 LNG(液化天然气)的船舶。

APEC 已经授予韩国一个合同来增进对燃液化天然气船舶的目前状态和发展潜力的了解, 以便为这一地区的海上贸易服务。

工作将包括制定计划, 以便使整个 APEC 地区共享这方面的知识和最好的实践, 其目标是促进这一新技术的发展和运用。

APEC 早已承诺, 它将“采取行动”把 APEC 的指导工作移向能源有效, 可持续的低碳运输的方面, 并将该计划列入 APEC 的议事日程。

(吉桂明 摘译)

tane ,hexane ,cyclohexane ,isohexane ,pentane ,isobutane ,R365mfc and their binary mixture. The results show that DSORC used zeotropic mixtures has an increase of 14.1 ~ 17.2% in second law efficiency compared to BORG used zeotropic mixtures ,and an increase of 5.3 ~ 8.7% compared to DSORC with pure fluids. The efficiency differences among 8 zeotropic mixtures are less than 3% . The second law efficiency increases linearly with the inlet temperature of heat source. **Key words:** organic Rankine cycle ,gas-liquid separator ,binary mixture ,thermodynamics ,genetic algorithm ,optimization

应用正交试验法进行惯性粒子分离器结构优化 = **Application of Orthogonal Test Method in the Structure Optimization of Inertial Particle Separator** [刊 ,汉] SUN Liang-liang ,WANG Tong (Gas Turbine Research Institute ,Shanghai Jiaotong University ,Shanghai ,China ,Post Code: 200240) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 31(4) . -31 ~ 37

An inertial particle separator was experimentally tested and numerically simulated based on orthogonal experiment theory ,and the effect of inertial particle separator structure parameters on particle separator separation efficiency and pressure drop loss was studied. An optimized structure was then obtained by the orthogonal design. Results show that compared to the separator designed based on empirical data ,the separator optimized using the orthogonal experiment theory in this paper has higher separation efficiency. **Key words:** orthogonal test ,inertial particle separator , separation efficiency ,numerical simulation

襟翼翼缝相对宽度对翼型动态气动性能的影响 = **Effect of the Relative Width of Wing Flap Slit on the Aerodynamic Performance of Airfoil** [刊 ,汉] LI Run-jie ,ZU Hong-ya ,LI Chun ,YE Zhou (School of Energy and Power Engineering ,University of Shanghai for Sci. & Tech. ,Shanghai ,China ,Post code: 200093) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 31(4) . -38 ~ 44

Based on symmetrical airfoil NACA0018 ,the airfoil flow field and lift-drag characteristics ,resulted from the dynamic swing of flap ,were studied for different flap slit widths of the wing trailing edge by using Fluent software numerical