

# 导流板增压的空心涡轮盘流固耦合

张猛创<sup>1</sup>, 李磊<sup>2</sup>, 侯旭<sup>1</sup>

1. 厦门大学, 福建, 厦门

2. 西北工业大学, 陕西, 西安

**简介:** 随着航空发动机整体性能需求的不断提升, 涡轮进口温度将超过2000K, 涡轮转子的工作条件十分苛刻, 传统的实心高压涡轮盘的设计转速已经达到极限。Cairo等人最早提出了一种新型的空心涡轮盘<sup>1</sup>, 将冷却气体引入涡轮盘内部进行冷却, 在减重的同时, 进一步突破了涡轮盘的破裂速度(极限)。但是其降低了从压气机进入高压涡轮盘的冷却气体的压力, 容易造成燃气倒灌, 从而发生危险。肋板可以增加换热面积, 具有导向作用, 可以减少内部冷气的压力损失。这里针对一种内表面具有导流肋板的空心涡轮盘, 使用COMSOL对其进行了共轭传热、流固耦合以及固体力学多物理场进行了分析, 然后使用Isight对导流肋板的排布和形状进行了降低应力水平以及增加出口压力的优化设计, 得到了合理的肋板设计方案, 对航空发动机进一步提高推重比和性能具有很大的意义。

**结果:** 温度分布如图3, 可以看到随着冷气的通入, 盘体整体温度大大降低。图4中, 导流肋板对流对压力的影响很大, 三层肋板基本将内部流体分成了三层阶梯状压力场。图5是压力从盘心到盘缘的增加变化趋势, 也可以看到对应的三处突然变化的位置。使用Isight软件调用CAD进行参数化建模, 优化参数包括肋板的间距, 角度, 高度以及层间距, 目标为出口压力最大, 进行优化, 并使用代理模型进行简化, 约束为几何约束, 优化方法使用遗传算法, 得到最优的肋板排布, 如图6。可以看到肋板变细, 中间层肋板长度增加。

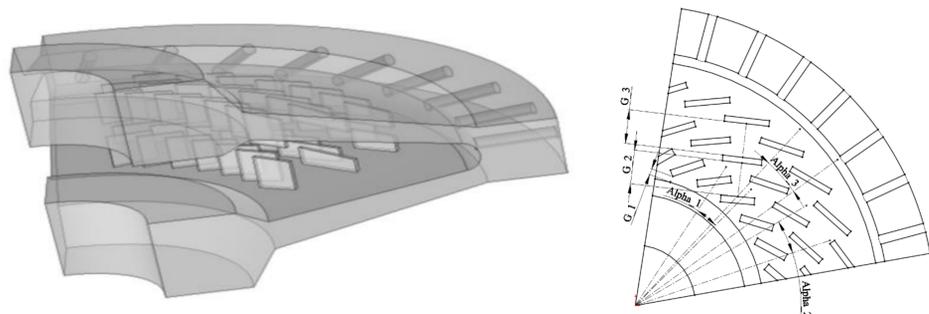


图1. 图片描述

**计算方法:** 使用Catia软件对其进行三维建模, 导入Comsol软件。模型涉及中等雷诺数的湍流问题, 考虑剪切流, 多物理场采用传热中的共轭传热, 选择湍流SST模型。设置由压气机出来的冷却空气为350℃, 入口质量流量0.139kg/s。建立柱坐标系加入旋转15000rpm。

$$\rho(\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} =$$

$$\nabla \cdot \left[ -p \mathbf{I} + (\mu + \mu_T)(\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^T) - \frac{2}{3}(\mu + \mu_T)(\nabla \cdot \mathbf{u}) \mathbf{I} - \frac{2}{3} \rho \mathbf{k} \mathbf{I} \right] + \mathbf{F}$$

$$\nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0$$

$$\rho(\mathbf{u} \cdot \nabla) k = \nabla \cdot [(\mu + \mu_T \sigma_k) \nabla k] + P - \beta_0^* \rho \omega k$$

冷却气体进出口如图2。涡轮盘盘缘温度900℃。材料为高温合金GH4169。流体域为空气。

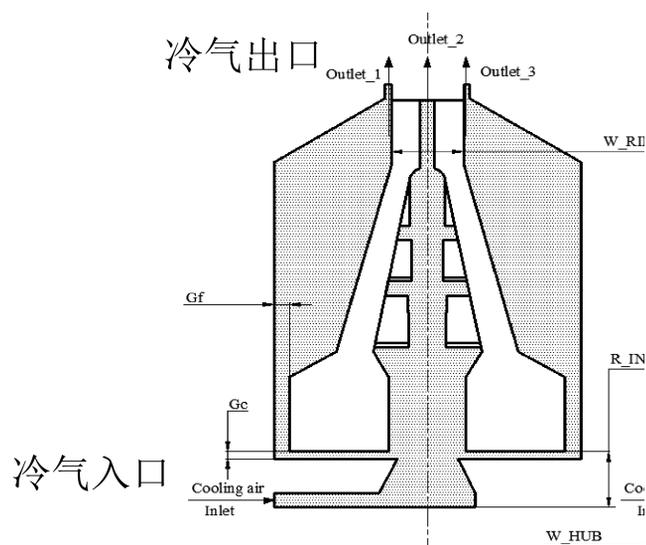


图2. 压气机冷气流入示意图

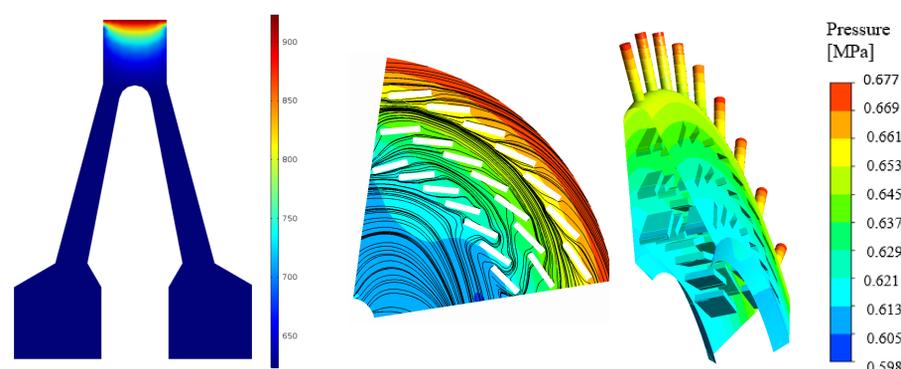


图3. 温度

图4. 内部流场和压力分布

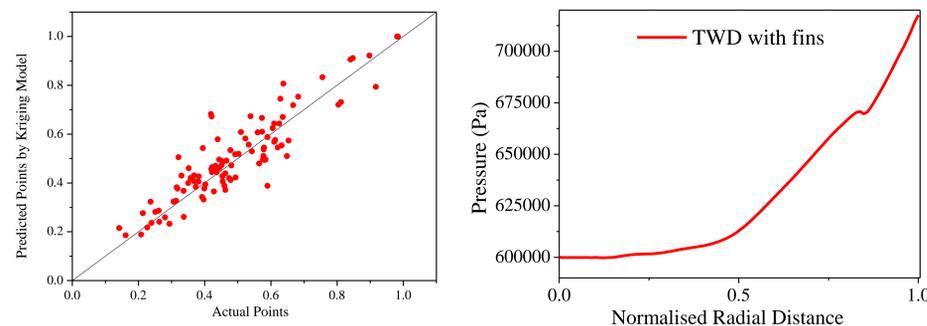


表1. Kriging有限元代理模型误差分析

图5. 压力随距离增加图

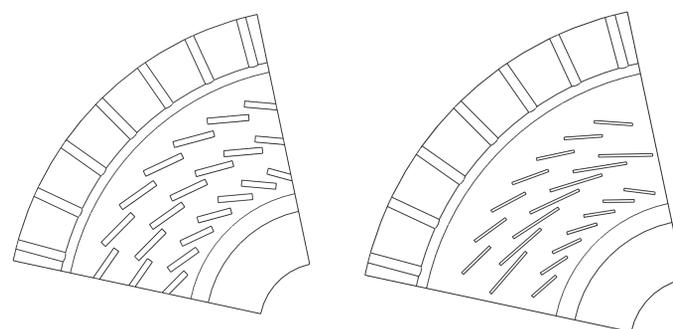


图6. 优化前后: 左图为优化前, 右图为优化后

**结论:** 内部肋板经过优化, 出口压力提高了16.34%。导流肋板的使用对涡轮机性能的进一步提高意义重大。

## 参考文献:

1. Cairo RR, Sargent KA (2002) Twin web disk: A step beyond convention Journal of Engineering for Gas Turbines and Power-Transactions of the Asme 124:298-302 doi:10.1115/1.1445440