

ANSYS®



ANSYS中国技术大会  
中国·上海

# 基于ANSYS与optiSLang耦合的压气机叶轮的优化设计

张方明 / 工程师

柏林工业大学内燃机研究所

# 目录

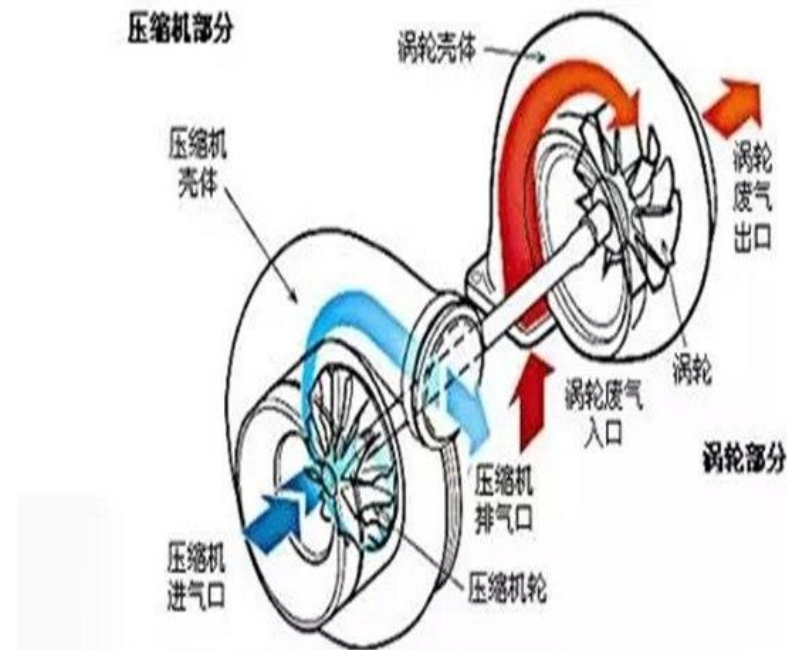
- 压气机问题描述
- 压气机优化目标
- 优化模型及算法
- 优化结果分析
- 结论

# 目录

- **压气机问题描述**
- 压气机优化目标
- 优化模型及算法
- 优化结果分析
- 结论

# 压气机问题描述

- 压气机等熵效率（流动损失降低，尾气利用率等）
- 压气机增压比（叶片载荷，涡轮负载等）
- 压气机工作范围（与发动机工况的重合度）
- 叶轮质量（转动惯量，最大应力等）



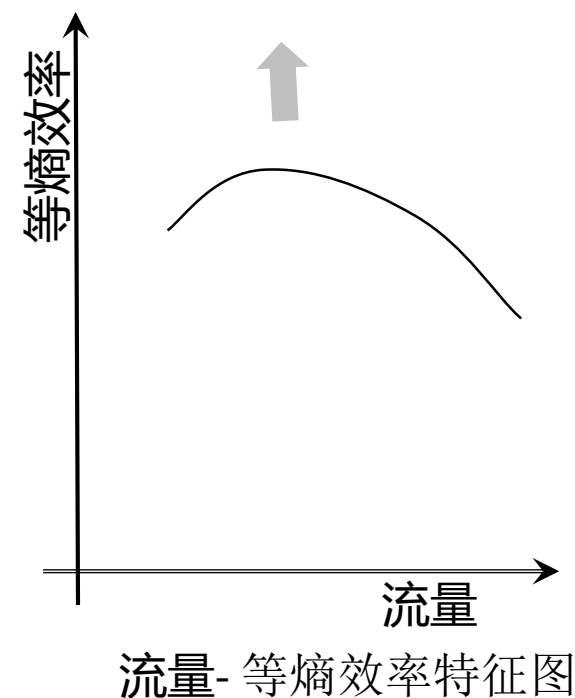
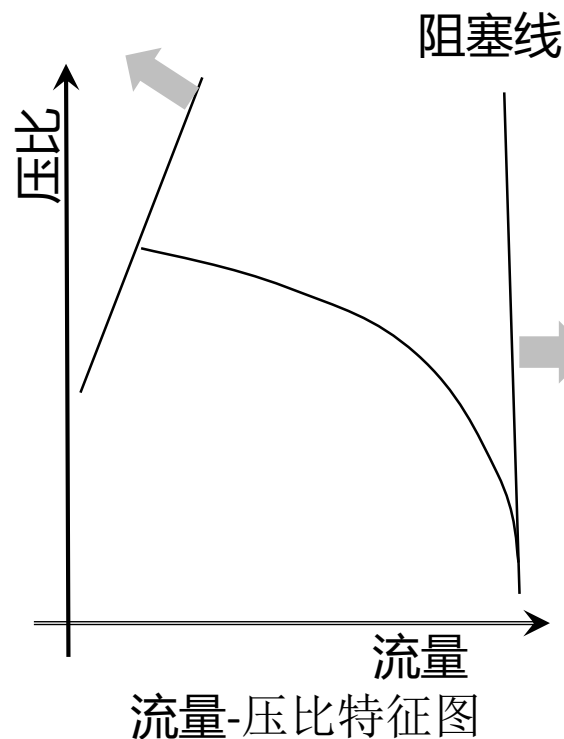
图片摘自网络

# 目录

- 压气机问题描述
- **压气机优化目标**
- 优化模型及算法
- 优化结果分析
- 结论

# 压气机优化目标

- 整体增压系统的等熵效率的最大化
- 降低最大应力且低于安全应力下
- 降低最大变形量至少保持原有变形量
- 降低质量并至少保持原有质量
- 增加至少保持现有的最大阻塞流量
- 保持或者提高在喘振区域附近增压比

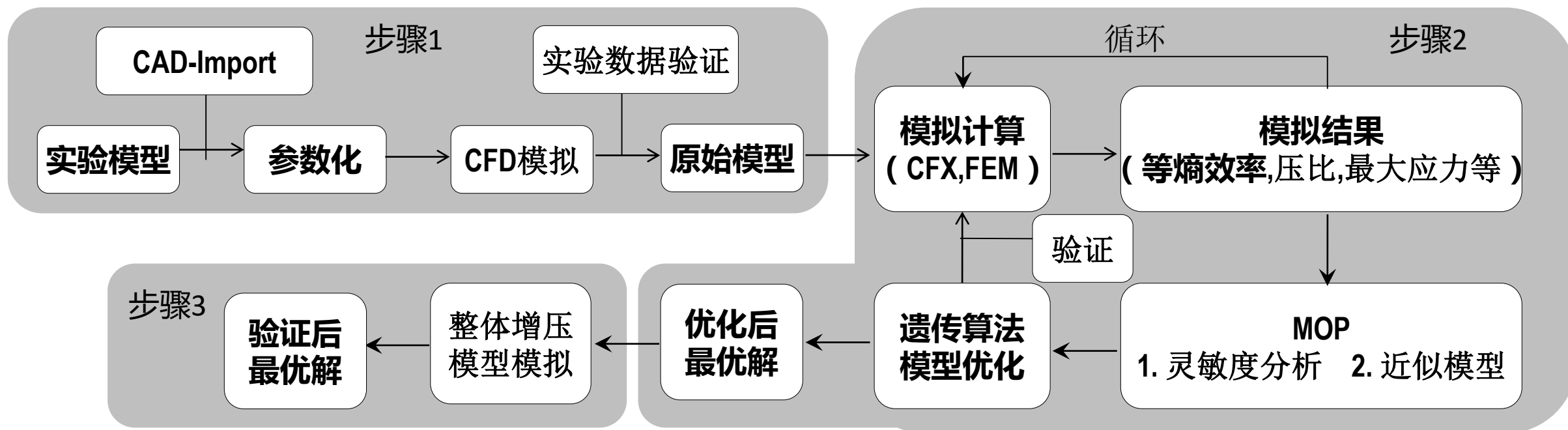




# 目录

- 压气机问题描述
- 压气机优化目标
- **优化模型及算法**
- 优化结果分析
- 结论

# 优化模型及算法-整体优化流程



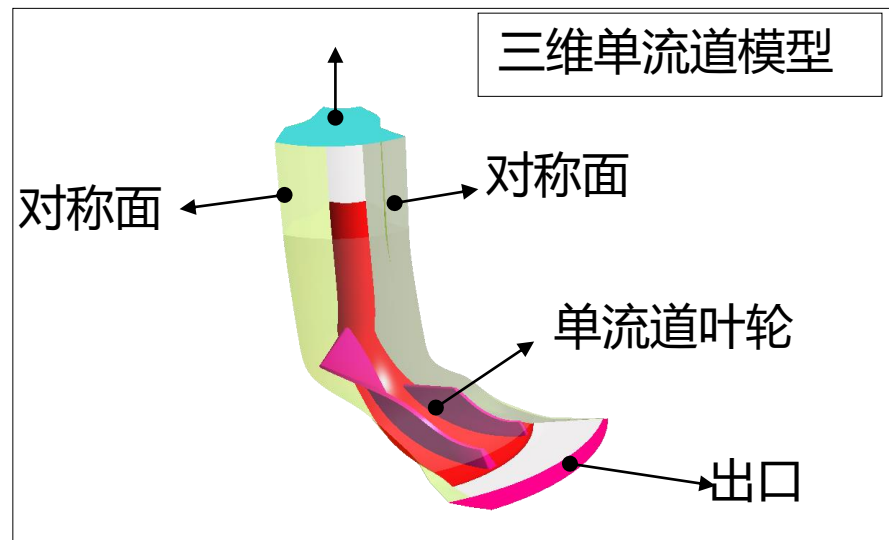
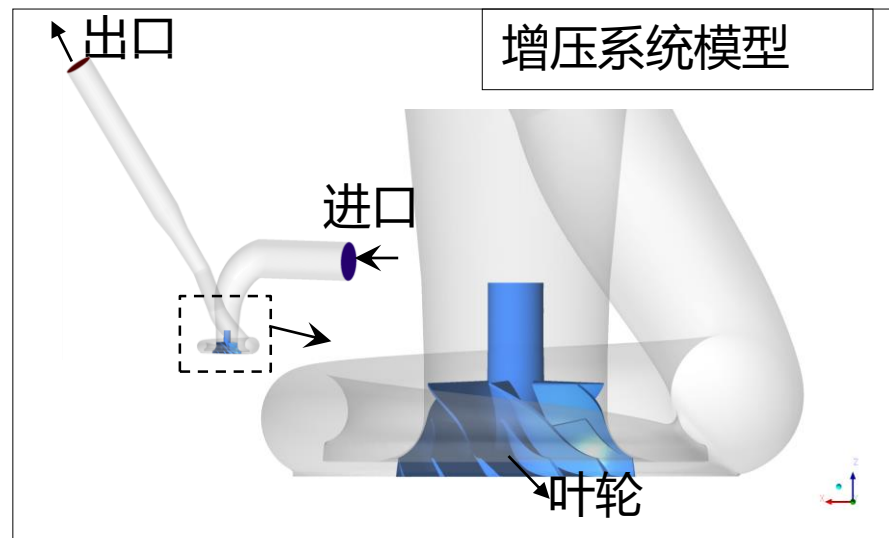
步骤1: 参数化实验模型；与实验数据比较；原始模型的确立  
 步骤2: optiSlang与Ansys耦合；三维流场及静力学模型；求得最优解  
 步骤3: 通过整体增压模型对最优解验证



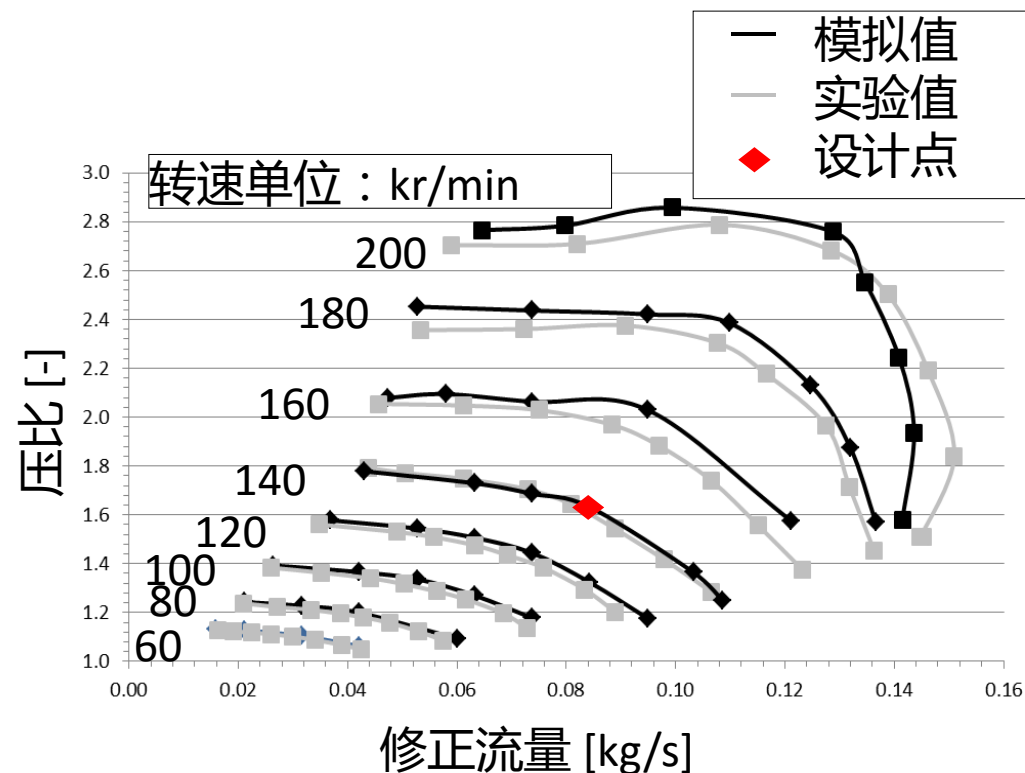
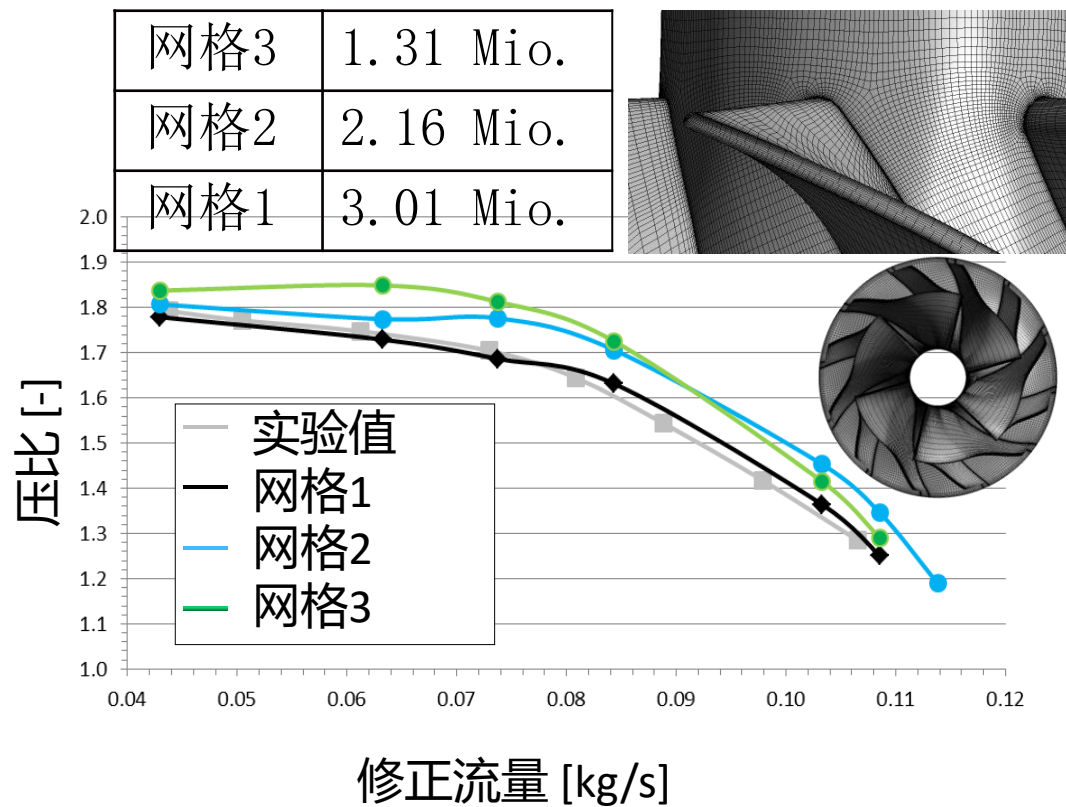
# 优化模型及算法-单流道及整体增压系统

- ANSYS CFD 16.1
- SST turbulence model with wall function
- Steady state with “Frozen Rotor”
- Walls: adiabatic, no slip boundary condition
- one passaga model 0.9 Mio. Nodes/ whole compression model 8.2 Mio

注：为节约成本对优化过程进行单流道模拟，  
步骤1与步骤3均为整体增压系统模拟

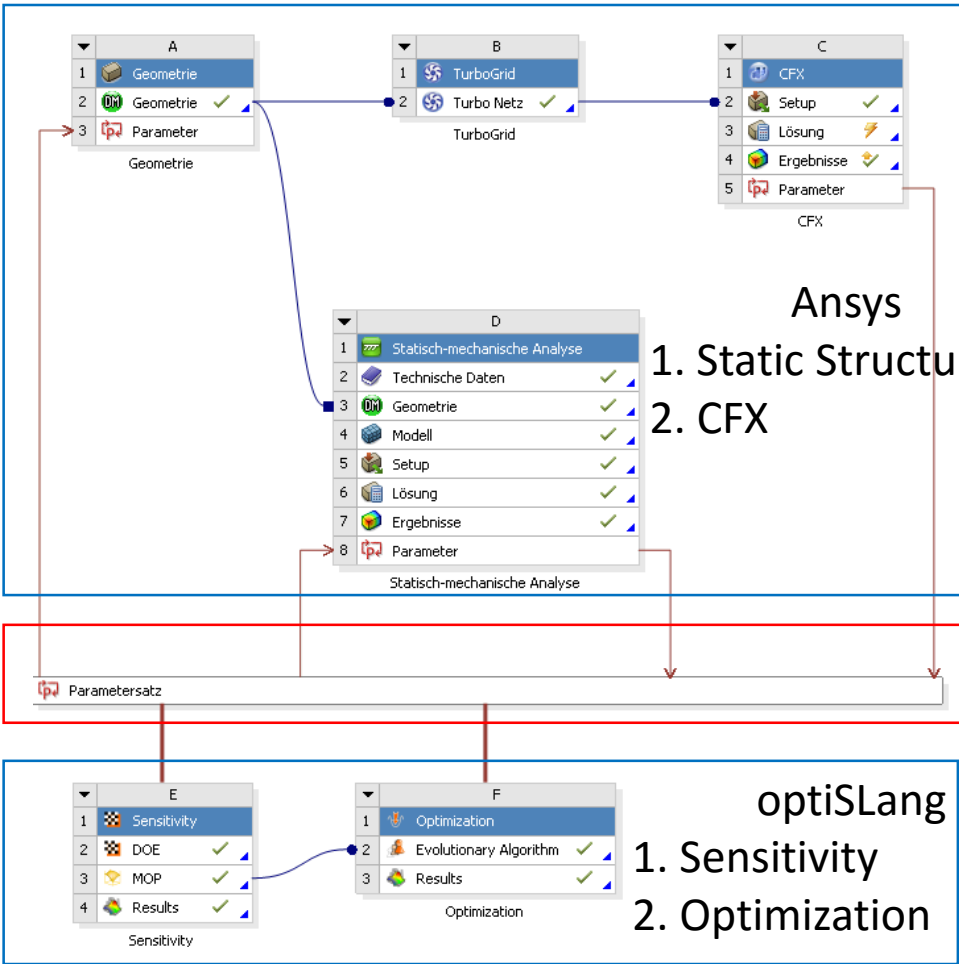


# 优化模型及算法-整体增压模型验证



- 网格1所得模拟结果较好，网格2与网格3较大脱离实验值
- 由网格1所得各转速下工况曲线接近实验值，予以采纳

# 优化模型及算法-ANSYS与optiSLang耦合



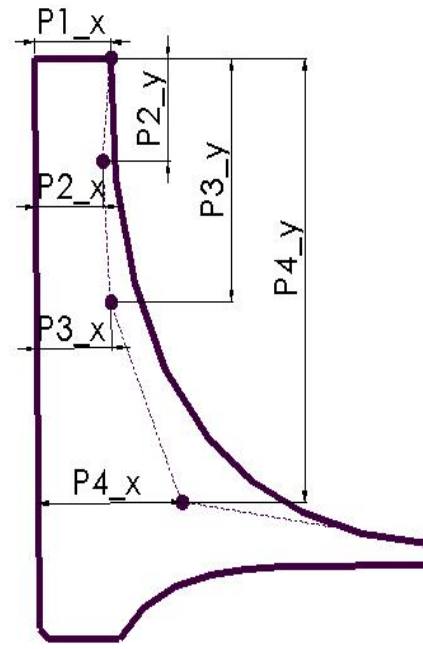
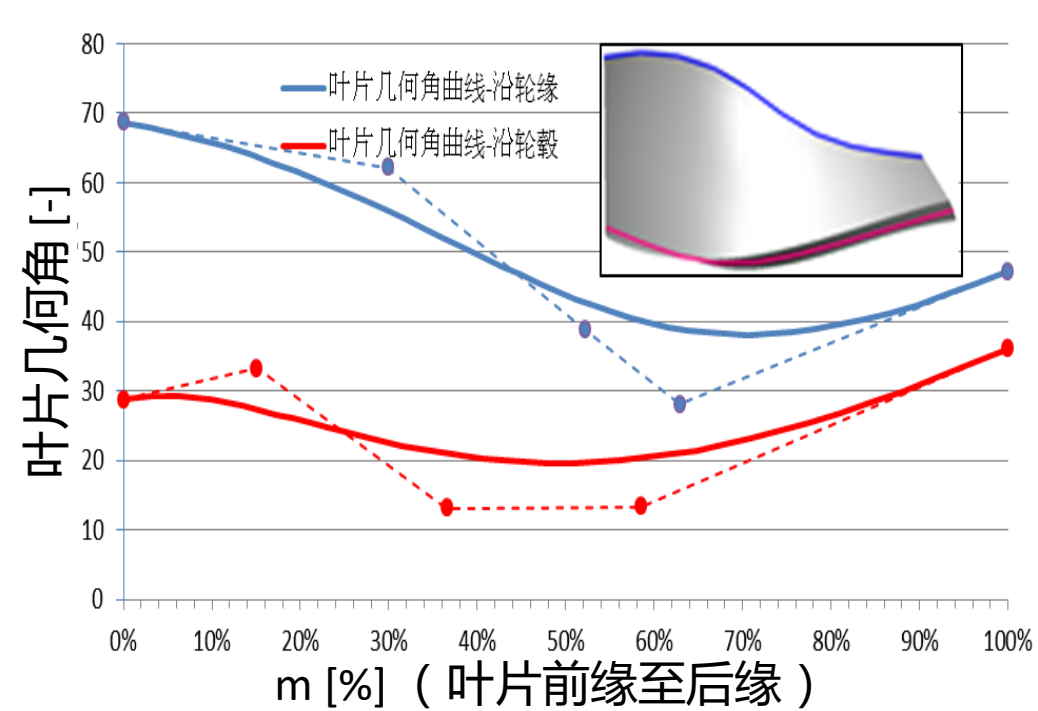
**optiPlug**

- interface between Workbench und optiSLang
- data exchange

① : 叶片角度、厚度信息  
② : 轮毂曲线信息  
③ : 输出信息

ID	Parametername	Wert	Einheit
1	Eingabeparameter		
2	Geometrie (A1)		
3	P52	Sonstige4_Blade.FD1007	31,575 degree
4	P53	Sonstige4_Blade.FD1009	30,088 degree
5	P54	Sonstige4_Blade.FD1011	14,456 degree
...			
39	P89	Sonstige9_Blade.FD1037	0,34047 mm
40	P90	Sonstige9_Blade.FD1039	0,50858 mm
41	P91	Sonstige9_Blade.FD1041	0,56002 mm
42	P92	Sonstige9_Blade.FD1043	0,41259 mm
43	P93	Sonstige9_Blade.FD1045	0,39881 mm
44	P94	DS_P1_x@Skizze4@6_LAUFRAD.Part	2,9954
45	P95	DS_P2_x@Skizze4@6_LAUFRAD.Part	3,7699
46	P96	DS_P3_x@Skizze4@6_LAUFRAD.Part	1,7226
47	P97	DS_P4_x@Skizze4@6_LAUFRAD.Part	10,794
48	P98	DS_P4_y@Skizze4@6_LAUFRAD.Part	3,9059
49	P99	DS_P3_y@Skizze4@6_LAUFRAD.Part	10,92
50	P100	DS_P2_y@Skizze4@6_LAUFRAD.Part	18,731
*	Neuer Eingabeparameter	Neuer Name	Neuer Ausdruck
52	Ausgabeparameter		
53	Statisch-mechanische Analyse (D1)		
54	P42	Vergleichsspannung Maximum	7,1519E+07 Pa
55	P43	Gesamtverformung Maximum	3,9118E-05 m
56	P101	Volumenkörper2 Masse	0,026636 kg
57	CFX (C1)		
58	P82	PR TT	1,3693
59	P83	etaIs	0,85176

# 优化模型及算法-输入参数（叶片角度/厚度及轮毂）



优化参数	个数
轮毂	7
主叶片（角度）	5×2
主叶片（厚度）	5×2
分流叶片（角度）	5×2
分流叶片（厚度）	5×2
共计	47

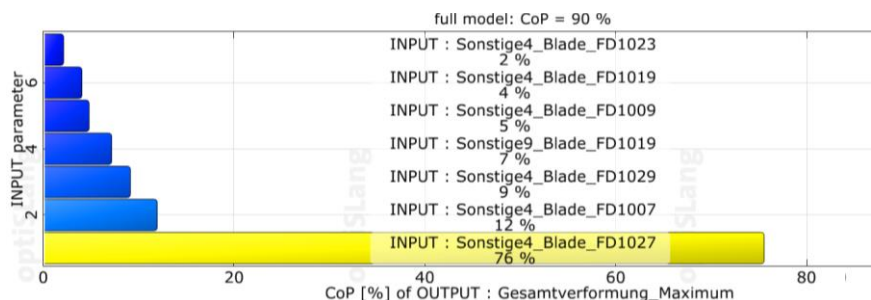
- 通过ANSYS Designmodeler 16.1 CAD-Import功能对原始叶片进行构造角及厚度的计算识别处理，采用Beta角和厚度曲线对叶型进行描述，均采用4阶Bezier曲线拟合。
- 轮毂曲线则借助SolidWorks建立参数化模型，导入ANSYS中进行识别

# 目录

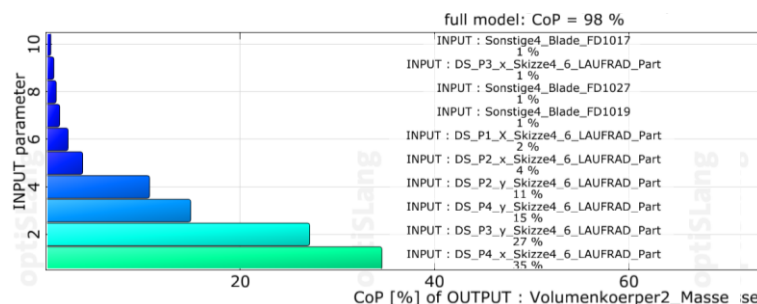
- 压气机问题描述
- 压气机优化目标
- 优化模型及算法
- **优化结果分析**
- 结论



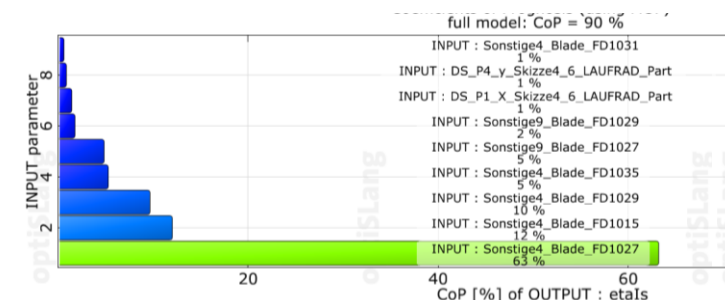
# 优化结果分析-灵敏度分析



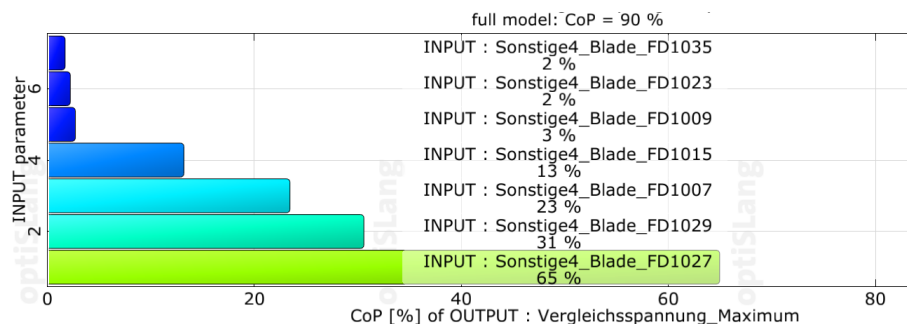
最大变形



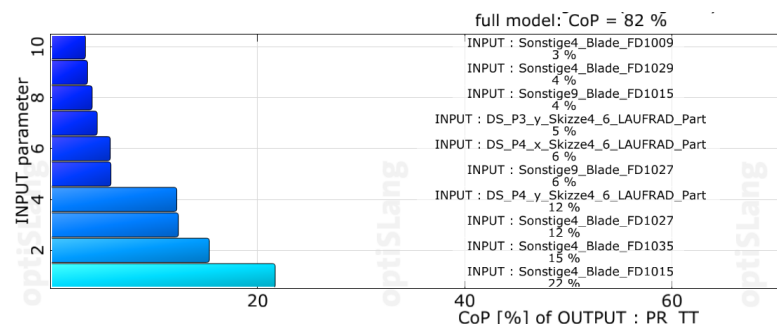
叶轮质量



等熵效率

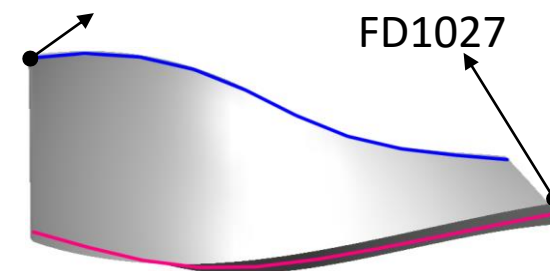


最大应力



压比

FD1027

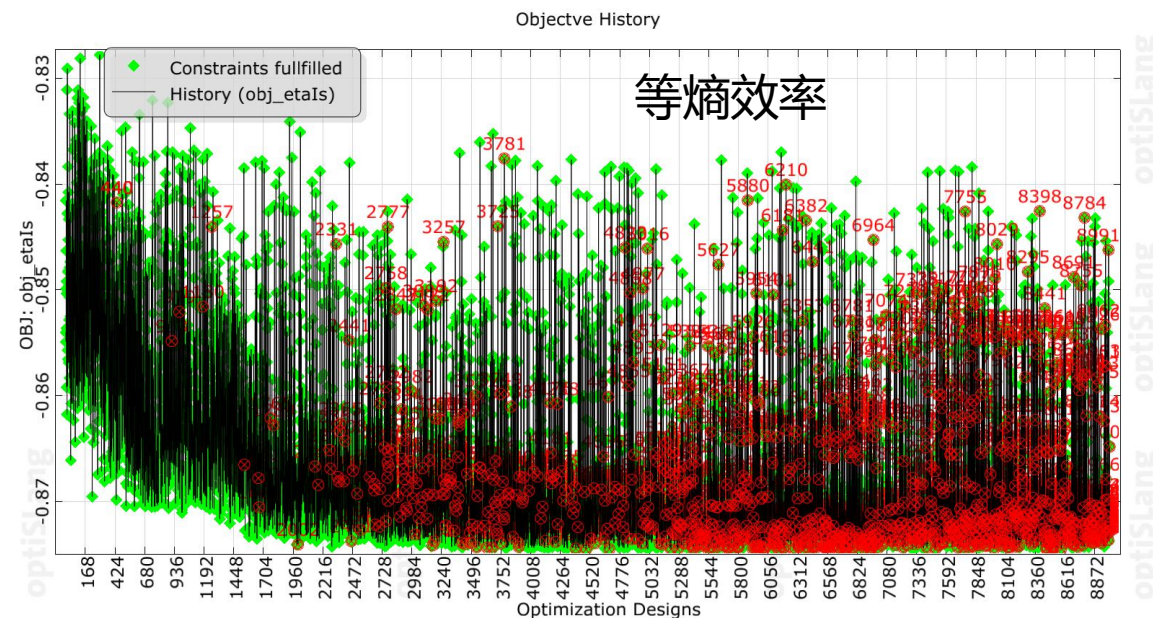
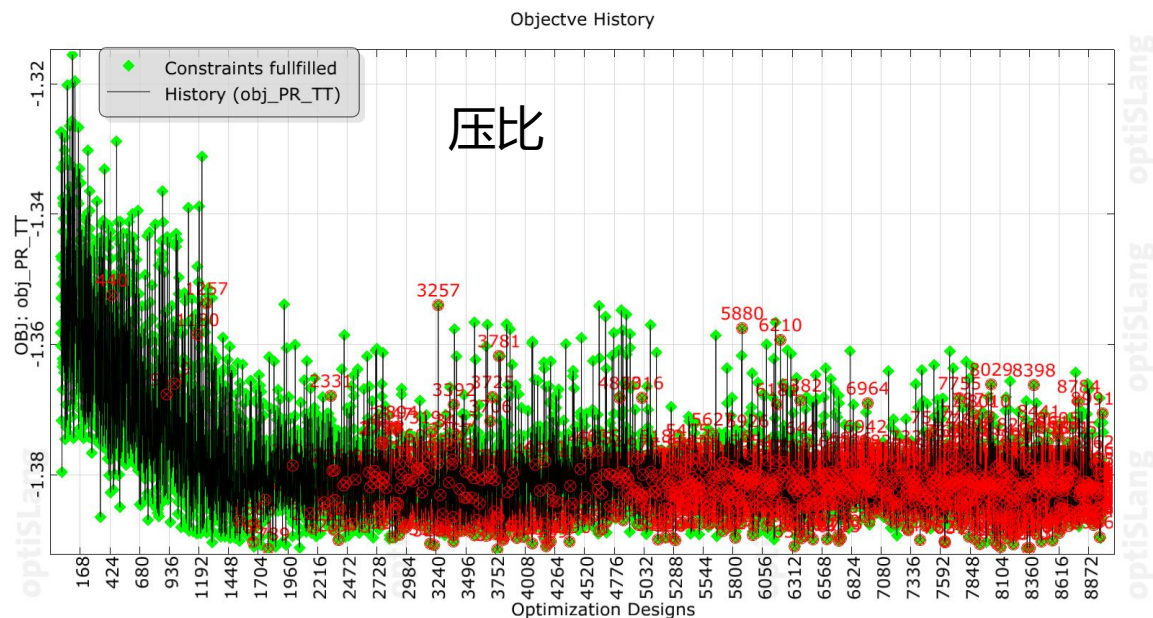


FD1027

- 除压比外，其他输出参数的CoP值均高于或等于90% → MOP近似公式较好
- 主叶片前缘顶端几何角及主叶后缘根角对各输出参数影响较大

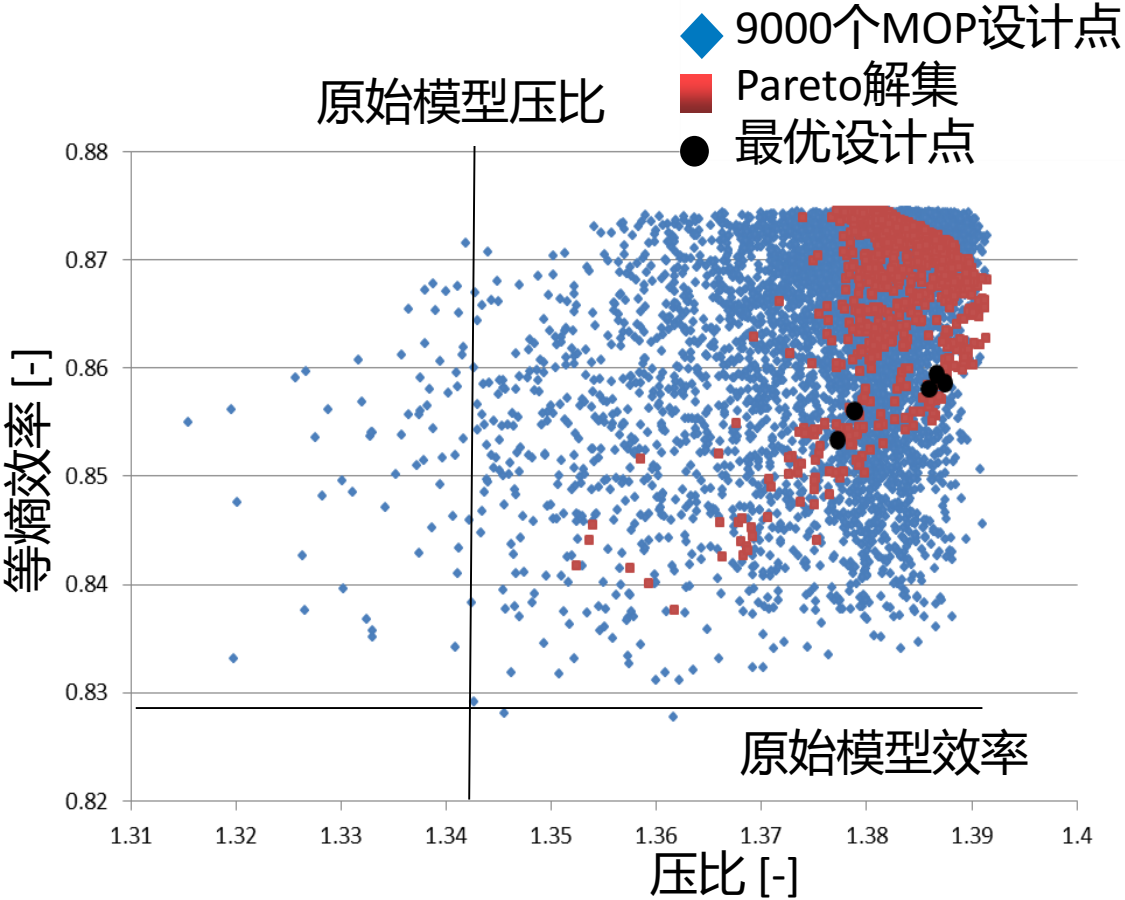


# 优化结果分析-迭代过程分析



- MOP模型共创建9000个设计点，压比与等熵效率逐代进行收敛，并趋近去最优值

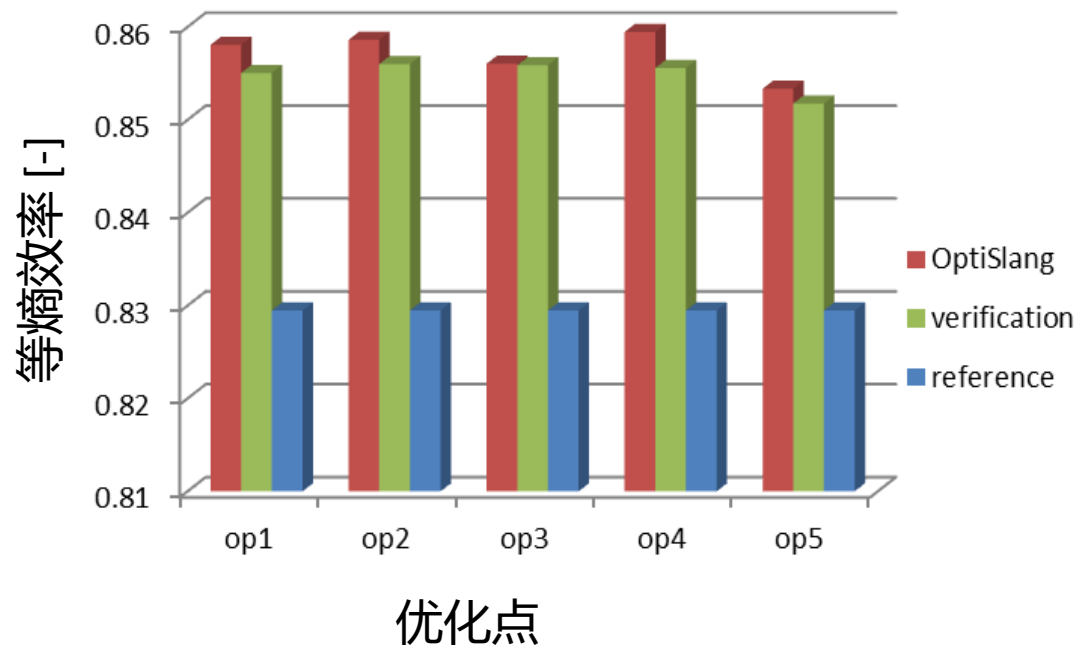
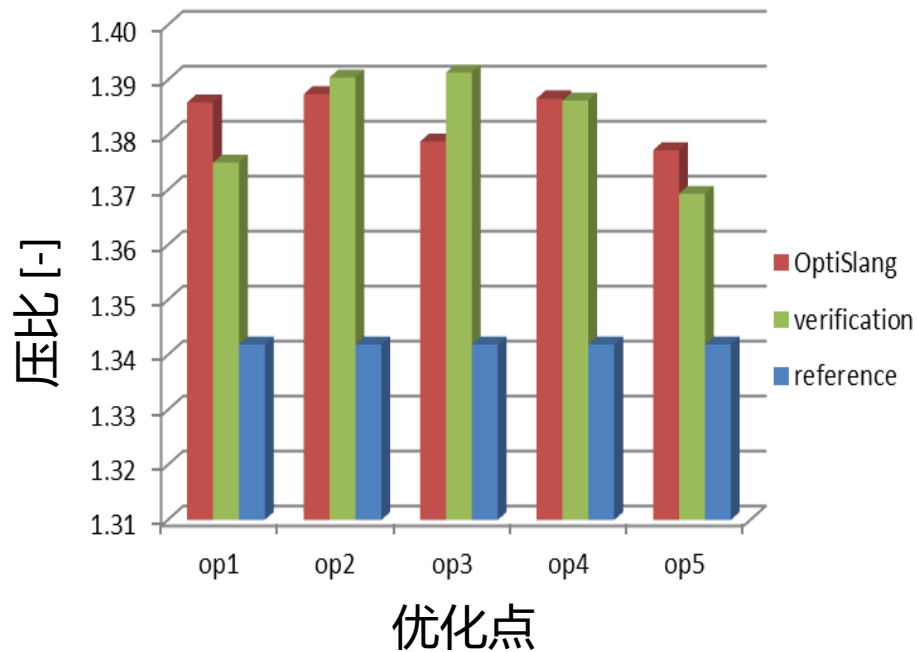
# 优化结果分析-Pareto解集



	最大应力	最大变形	质量	压比	等熵效率
op1	-3.5%	-6.6%	-3.2%	3.3%	3.4%
op2	-3.8%	-5.1%	-3.4%	3.4%	3.5%
op3	-4.2%	-6.4%	-3.4%	2.8%	3.2%
op4	-3.1%	-4.5%	-4.1%	3.3%	3.6%
op5	-5.3%	-6.6%	-1.0%	2.6%	2.9%

- 共计9000个MOP设计点，Pareto解集共有1047个设计点，集中于图右上位置
- Pareto最优解集中找出五种最优叶轮设计

## 优化结果分析-MOP最优解验证

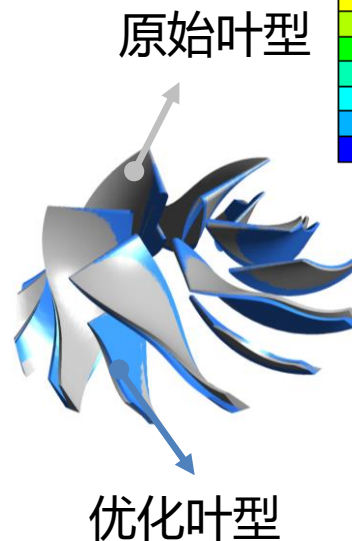
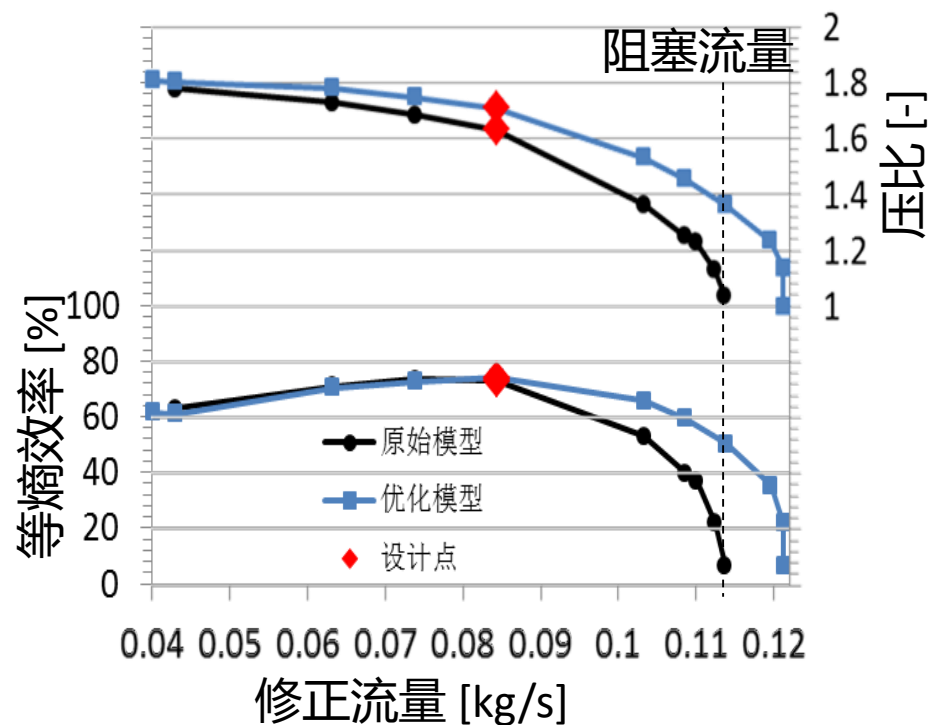


- 在设计点工况下，由近似模型所得压比与验证模拟结果差值约为0.05bar，等熵效率增幅约为0.025，验证结果与近似结果相近，近似模型准确度较高。



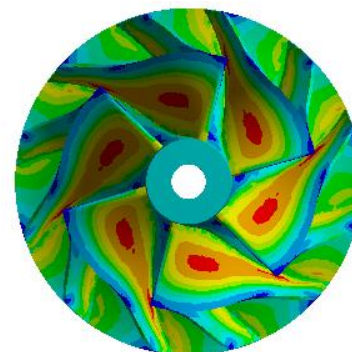
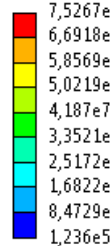
# 优化结果分析-最优解在整体增压模型中的验证

压比与等熵效率比较



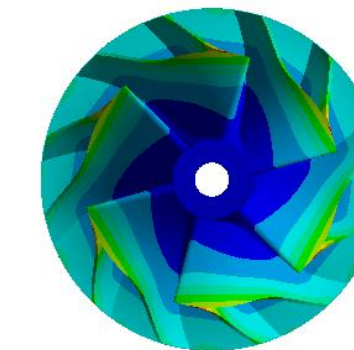
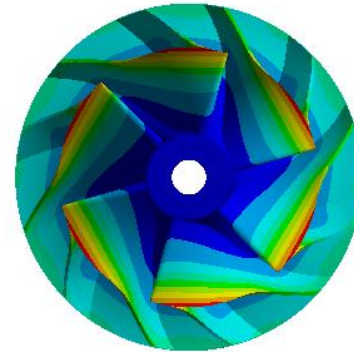
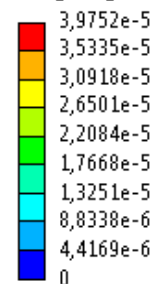
最大应力

[Pa]



最大变形

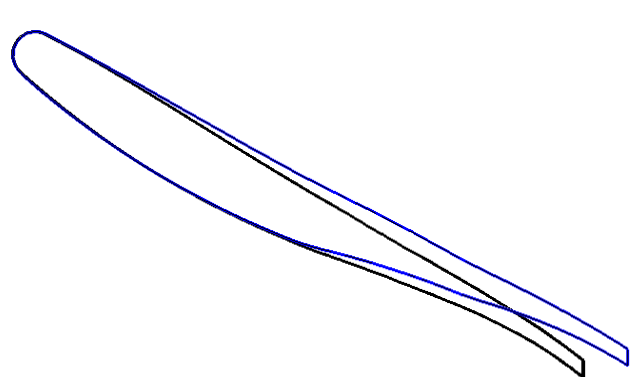
[m]



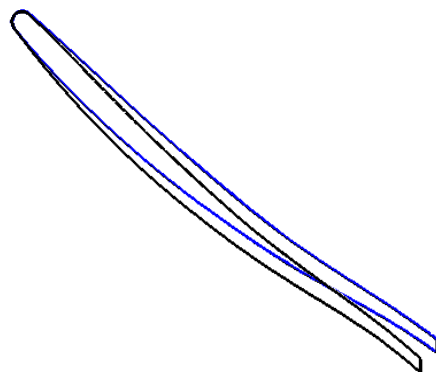
- 优化叶轮在设计点处等熵效率小幅提高1.45%，增压比提高4.85%
- 阻塞流量较原始模型增加6.64%，喘振线也稍微向左移动
- 优化后叶片最大应力降低1.33%，最大变形量降低2.52%

## 优化结果分析-优化叶型与原始叶型比较

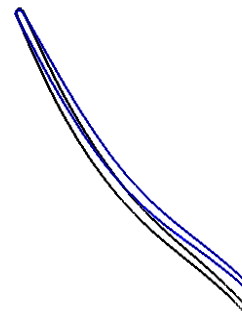
— 原始叶型 (主叶片)  
— 优化叶型 (主叶片)



叶高 10%

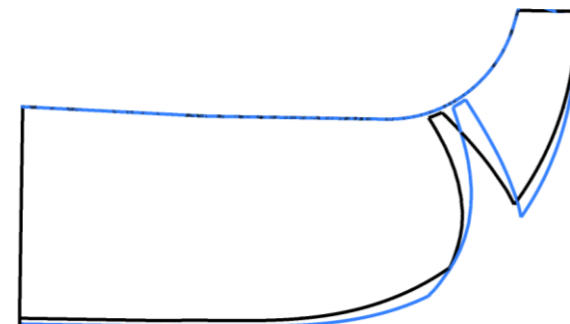


叶高 50%



叶高 90%

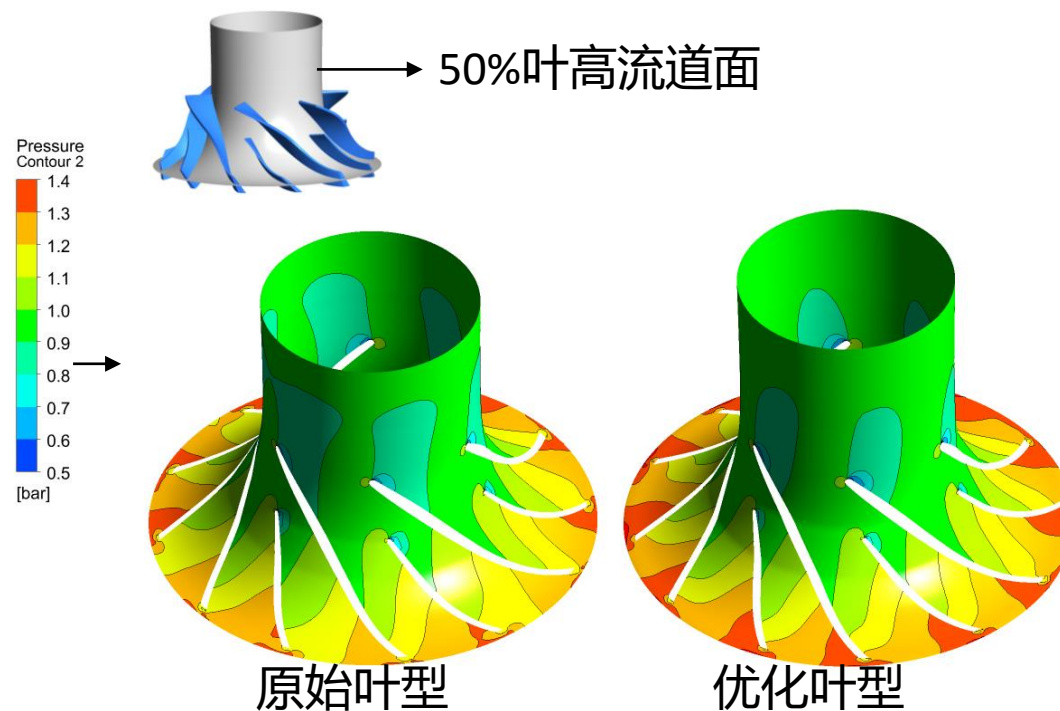
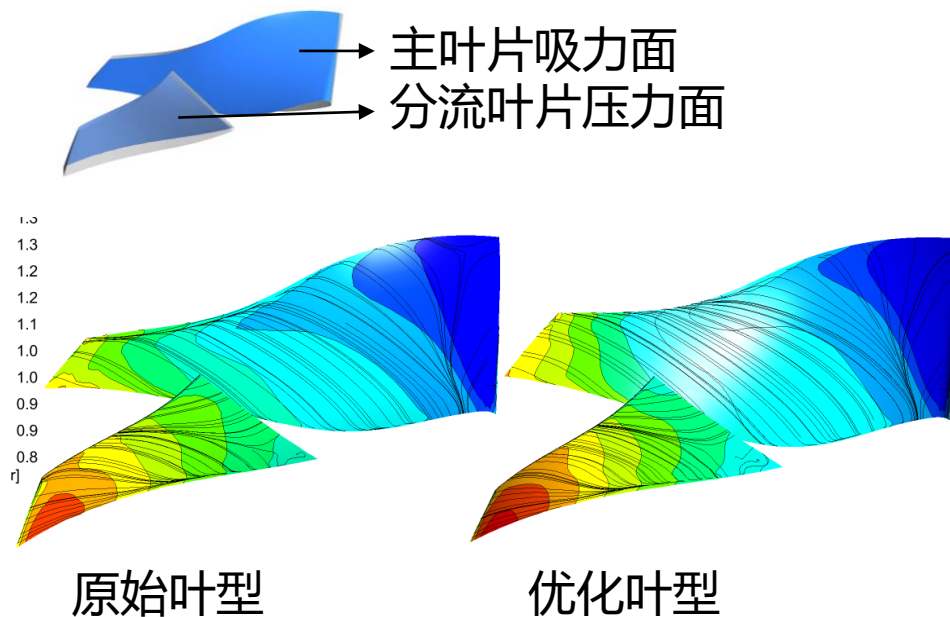
— 原始流道 (主叶片)  
— 优化流道 (主叶片)



子午线流道

- 优化 (主) 叶片前缘几何角度通体变小以迎合由流量影响的入口速度，减小入射损失
- 优化 (主) 叶片后缘叶根处较叶尖处稍微向后突出，有利于增加压比，提高等熵效率
- 主叶片中部稍向前倾斜，可使迁移流避免由于离心力作用而进入叶轮间隙，影响增压
- 优化叶片厚度与原始模型类似

## 优化结果分析-优化叶型与原始叶型模拟结果比较



优化叶型优点：

- 分离流区域较小且此处二次流较小
- 泄露损失较原始模型更小
- 径向流流动均匀，流动损失较小
- 静压比原始叶片更高



# 目录

- 压气机问题描述
- 压气机优化目标
- 优化模型及算法
- 优化结果分析
- 结论

## 结论

- 通过ANSYS与optiSLang耦合成功对压气机叶轮进行多目标优化，优化具有操作简单，高效等特点，且匹配度较高，优化后的模型，气动性能以及安全性大大提高。
- 等熵效率与增压比的优化度均受到流量影响；在设计工况点，等熵效率提高1.45%、增压比提高4.85%，叶轮工作范围也大幅提高，叶轮的最大应力以及最大变形量也得到控制；叶轮质量降低

ANSYS®



ANSYS中国技术大会  
中国·上海

感谢聆听

