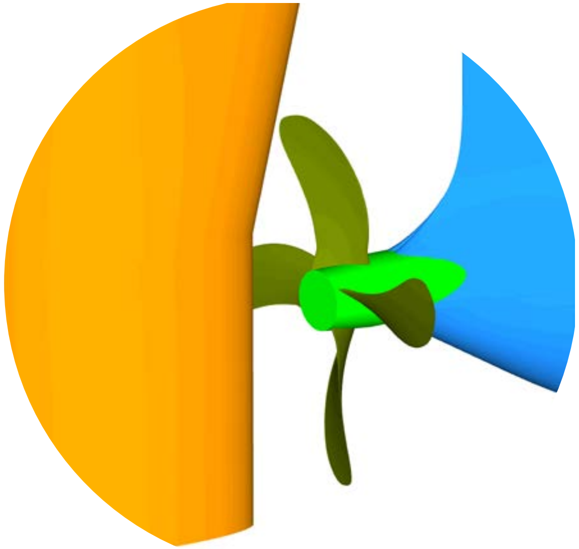
自航条件下螺旋桨的优化



张青山*，杜云龙，杨帆，陈昆鹏，任海奎

航运技术与安全事业部

上海船舶运输科学研究所

2019-06-14

历史沿革

- **1962** 成立，交通部直属科研机构
- **2000** 转制为科技型企业，由中央企业工作委员会管理
- **2003** 由国务院国有资产监督管理委员会领导会管理
- **2010** 经国务院批准整体进入中海集团
- **2016** 与中远集团重组，为中国远洋海运集团有限公司

人员配置及研究领域

- 25% 高级
- 33% 中级
- 42% 初级

96

- 船舶水动力性能研究
- 智能船舶技术研究
- 海事安全技术研究
- 船型及系统论证
- 桥梁/隧道防船撞技术研究

科研设施

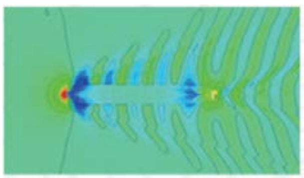
拖曳水池

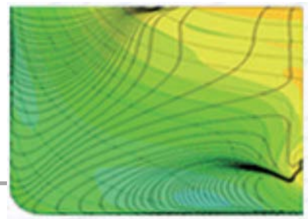
风浪流水池

操纵性水池

空泡水筒

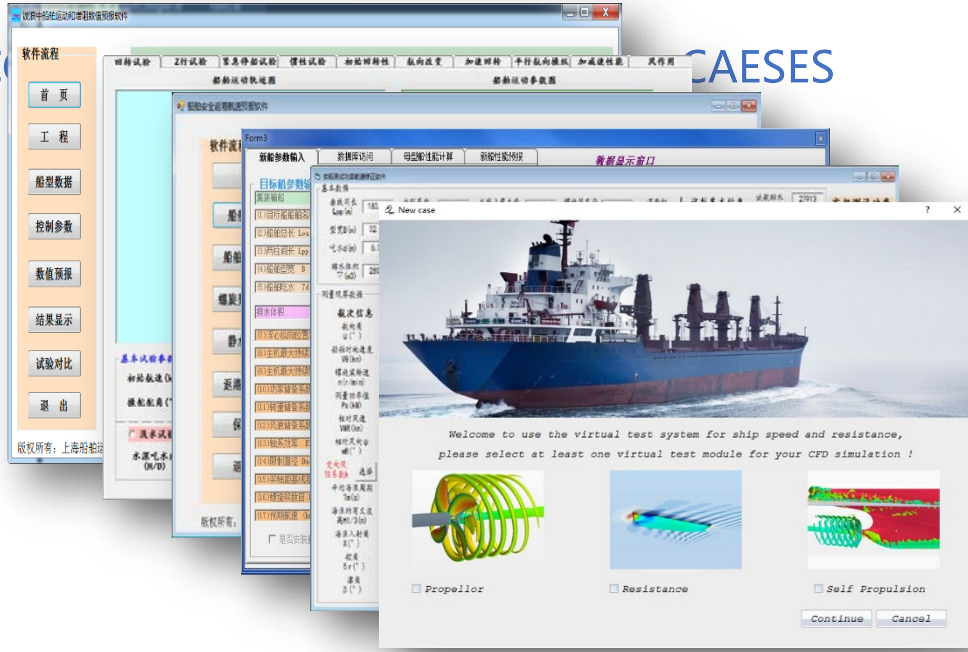
应用软件



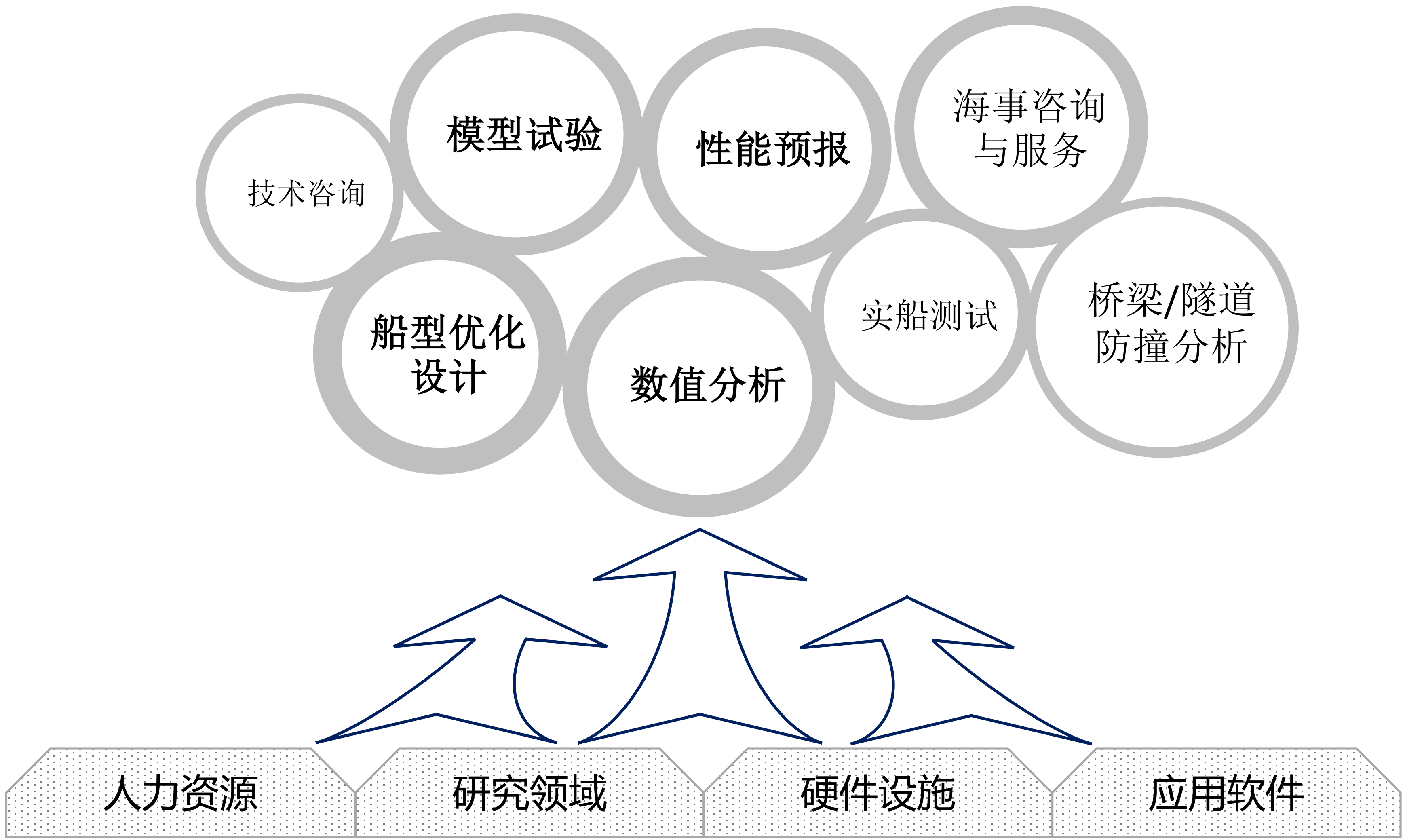


Rapid　Panasoss　STAR-CCM+　FLUENT　CAESES

- 船舶功率与航速预报系统
- 船舶快速性子系统
- 波浪增阻预报软件
- 船舶操纵运动计算软件
- 船舶安全返港航速预报软件
- 实船测试功率航速修正软件
- 船舶浮态节能应用软件
- 船舶航行性能按数据分析系统



服务范围


技术咨询
模型试验
性能预报
海事咨询
与服务
船型优化
设计
数值分析
实船测试
桥梁/隧道
防撞分析
人力资源
研究领域
硬件设施
应用软件

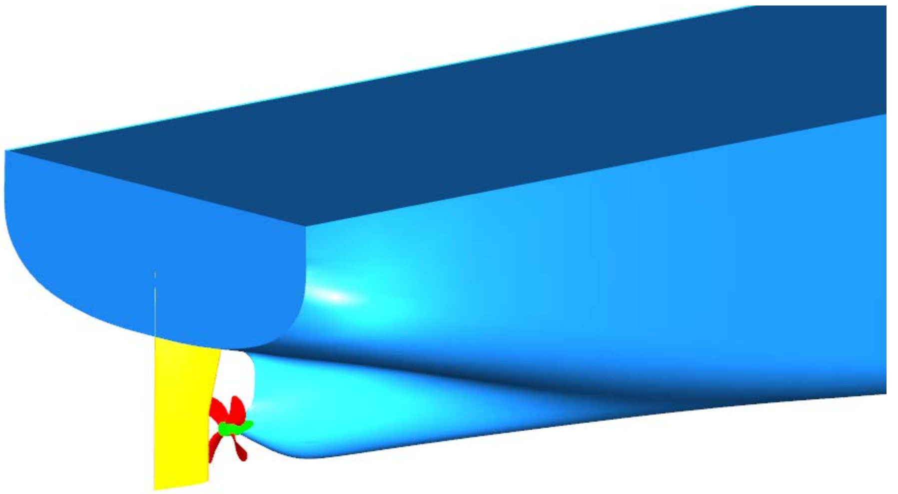
报告议程

- 螺旋桨优化简介
- 螺旋桨参数化建模
- CAESES 与 STAR-CCM+的耦合
- 螺旋桨优化
- 结论与展望

螺旋桨优化简介

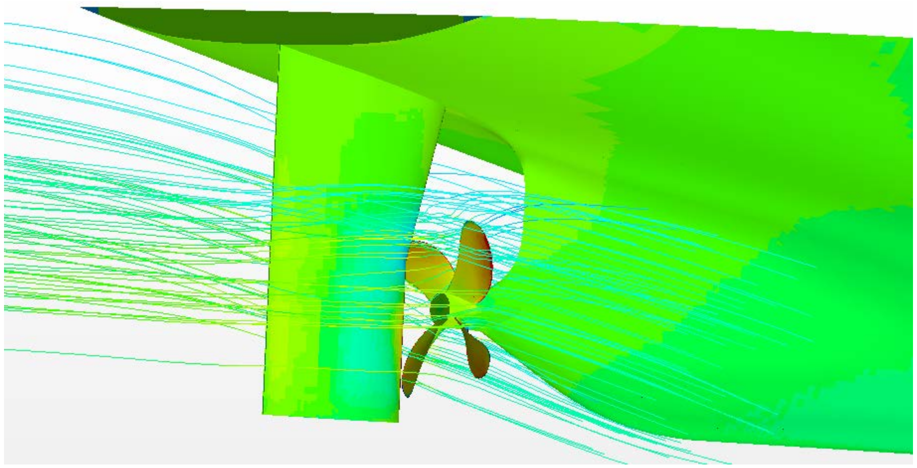
设计需求：

- 对象为某油船的对应螺旋桨；
- 固定转速下，功率不超过8300kW；
- 直径为6.12m;

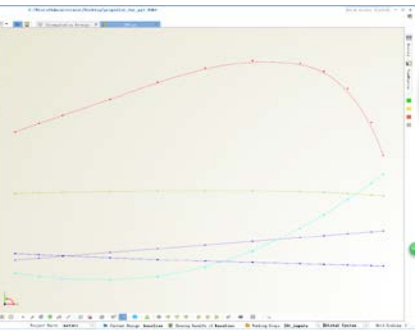


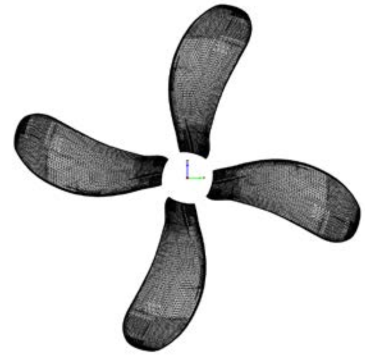
螺旋桨参数化研究：

- 相关性较强的设计变量；
- 设计变量相应的变化规律；



螺旋桨优化简介





参数化建模

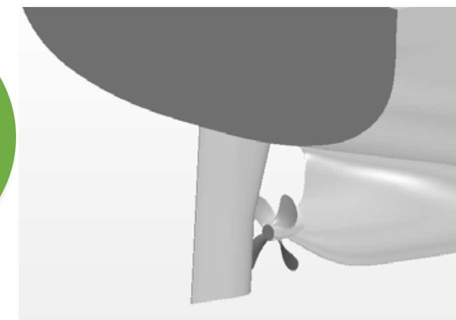
参数化变形

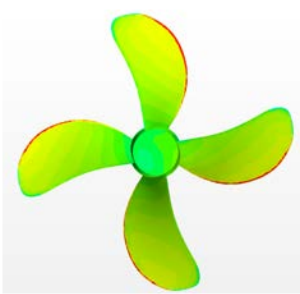
几何前处理

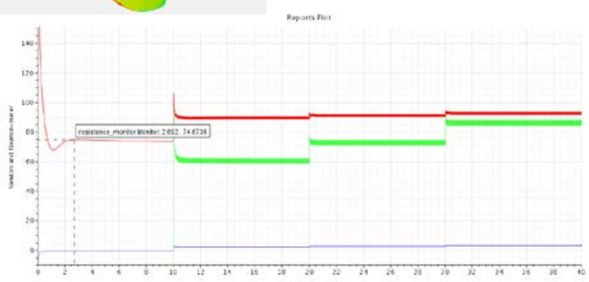
网格划分

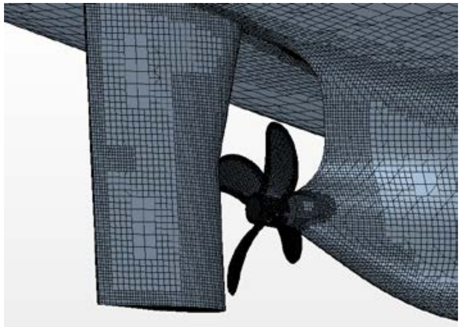
数值评估及后处理

自动优化

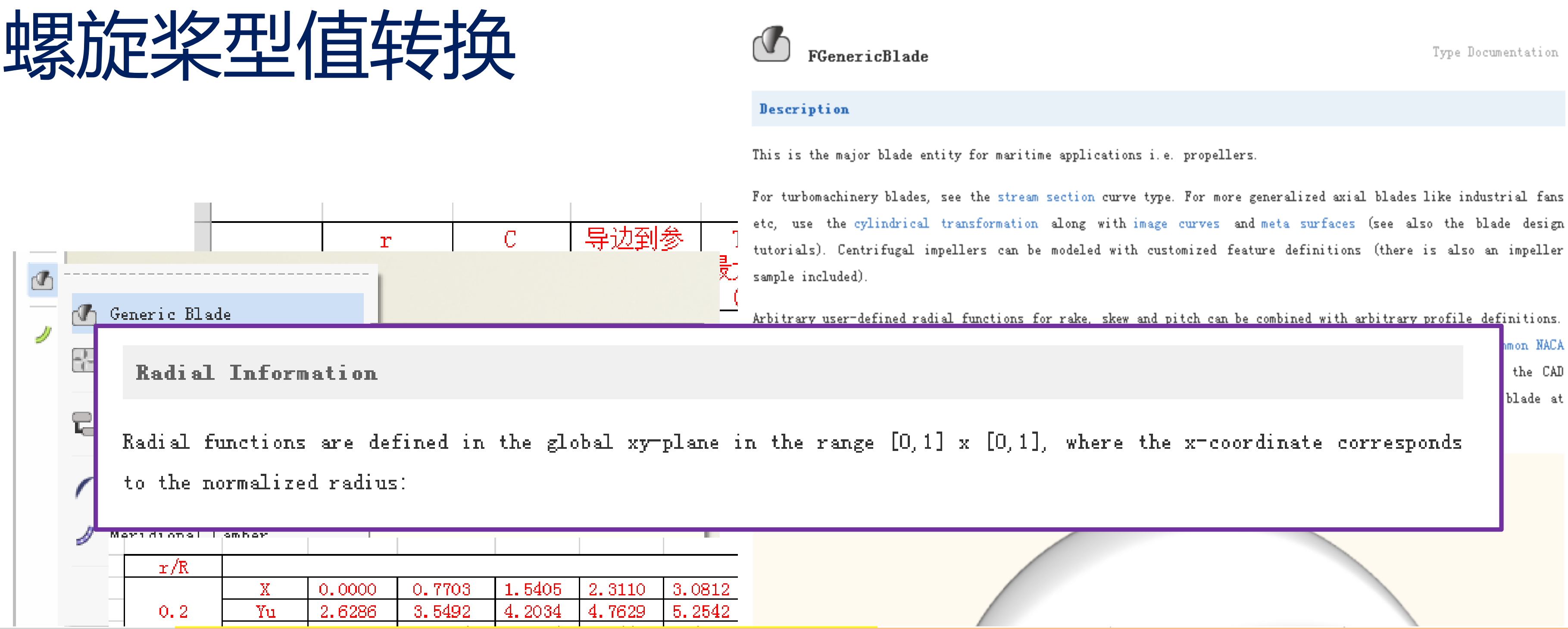








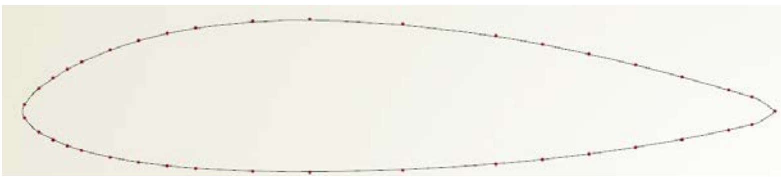
螺旋桨型值转换



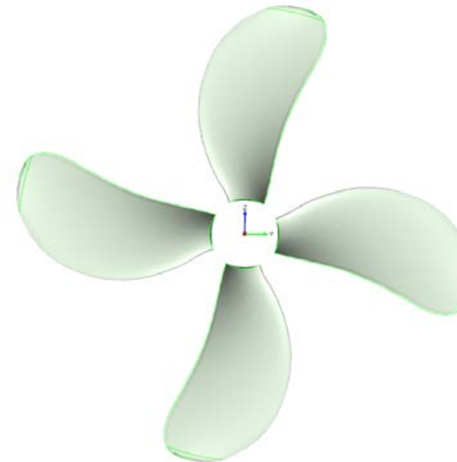
	弦长	导边基线的距离	厚度	纵倾	螺距	弦长中心到基线的距离
0.2	0.3172	0.1725	0.0322	0.0175	1.7289	-0.0139
0.25	0.3367	0.1904	0.0298	0.0219	1.7407	-0.0220
0.3	0.3560	0.2047	0.0274	0.0262	1.7532	-0.0267
0.4	0.3929	0.2261	0.0226	0.0350	1.7727	-0.0297
0.5	0.4336	0.2393	0.0182	0.0437	1.7868	-0.0225
0.6	0.4666	0.2339	0.0148	0.0525	1.7918	-0.0006
0.7	0.4842	0.2047	0.0118	0.0612	1.7873	0.0374
0.8	0.4781	0.1487	0.0087	0.0700	1.7694	0.0904
0.85	0.4593	0.1071	0.0072	0.0744	1.7536	0.1226

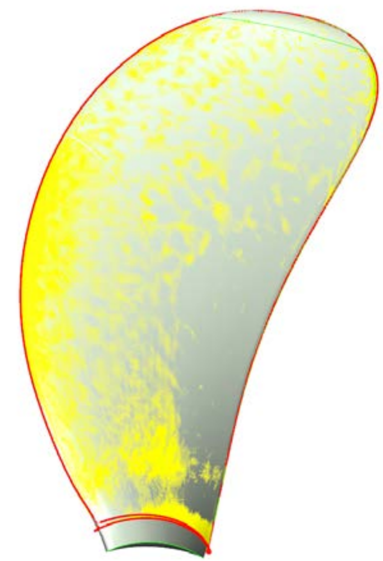
螺旋桨参数化建模

二维切面翼型



Generic Blade

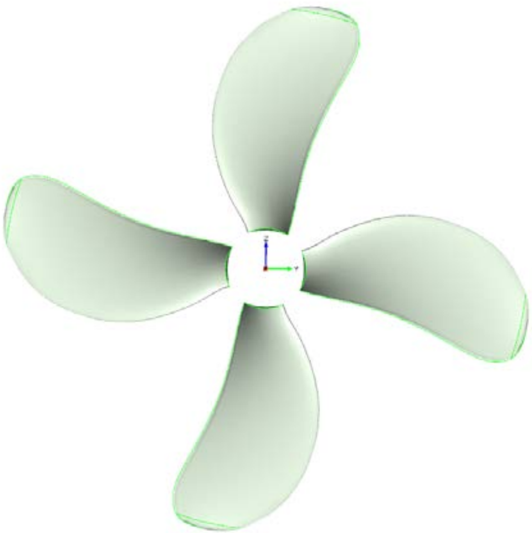


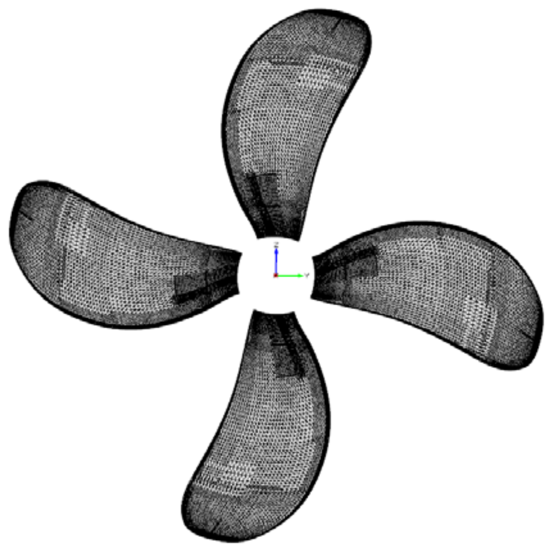


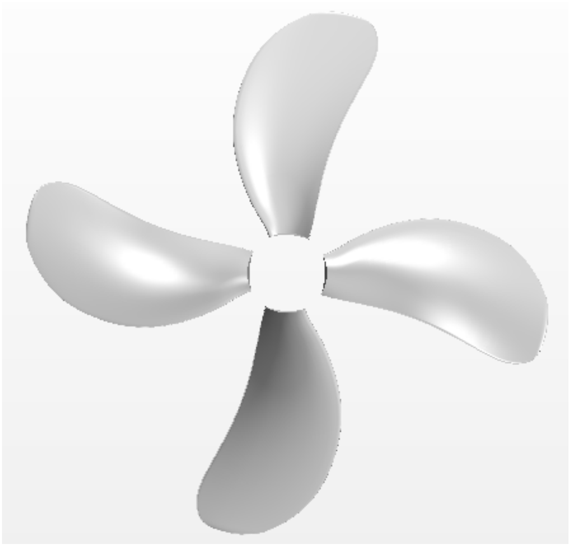
Periodic BReps

螺旋桨几何处理

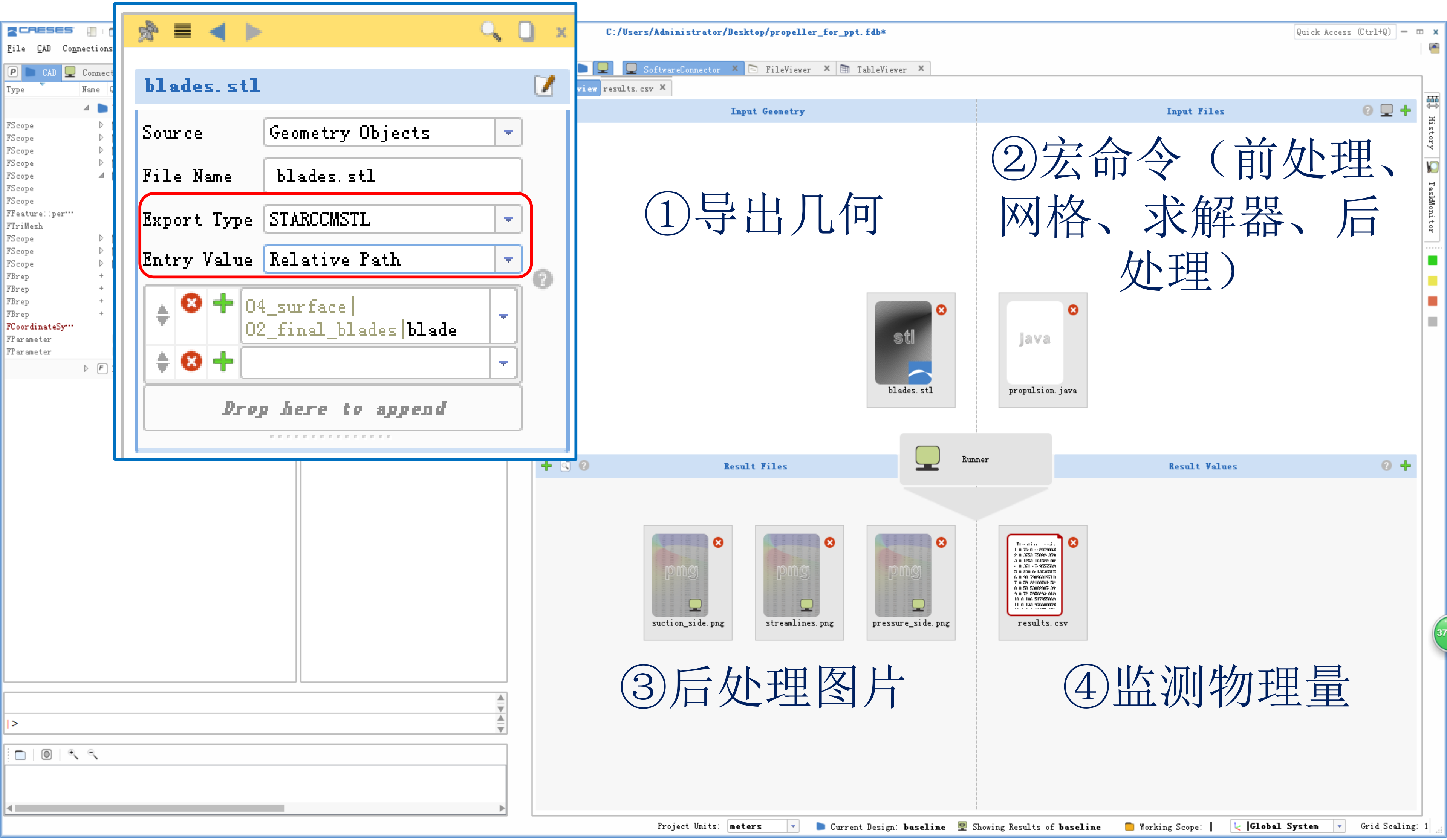
Breps 面 → TriMesh 面 → Solid 面







CAESES 与 STAR-CCM+的耦合



单个算例情况

基本情况

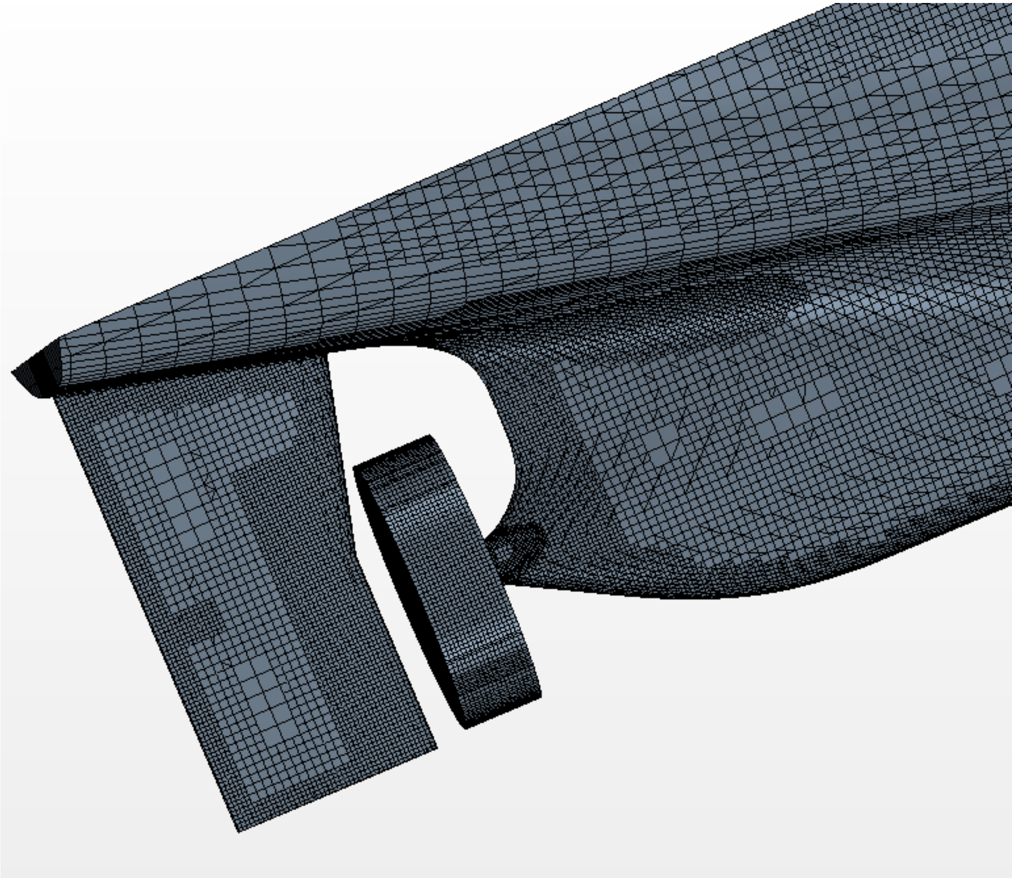
- 实船航速 15kn（模型下 1.577m/s）
- 螺旋桨直径 6.12m（模型下 0.256m）
- 4 叶螺旋桨

计算方法

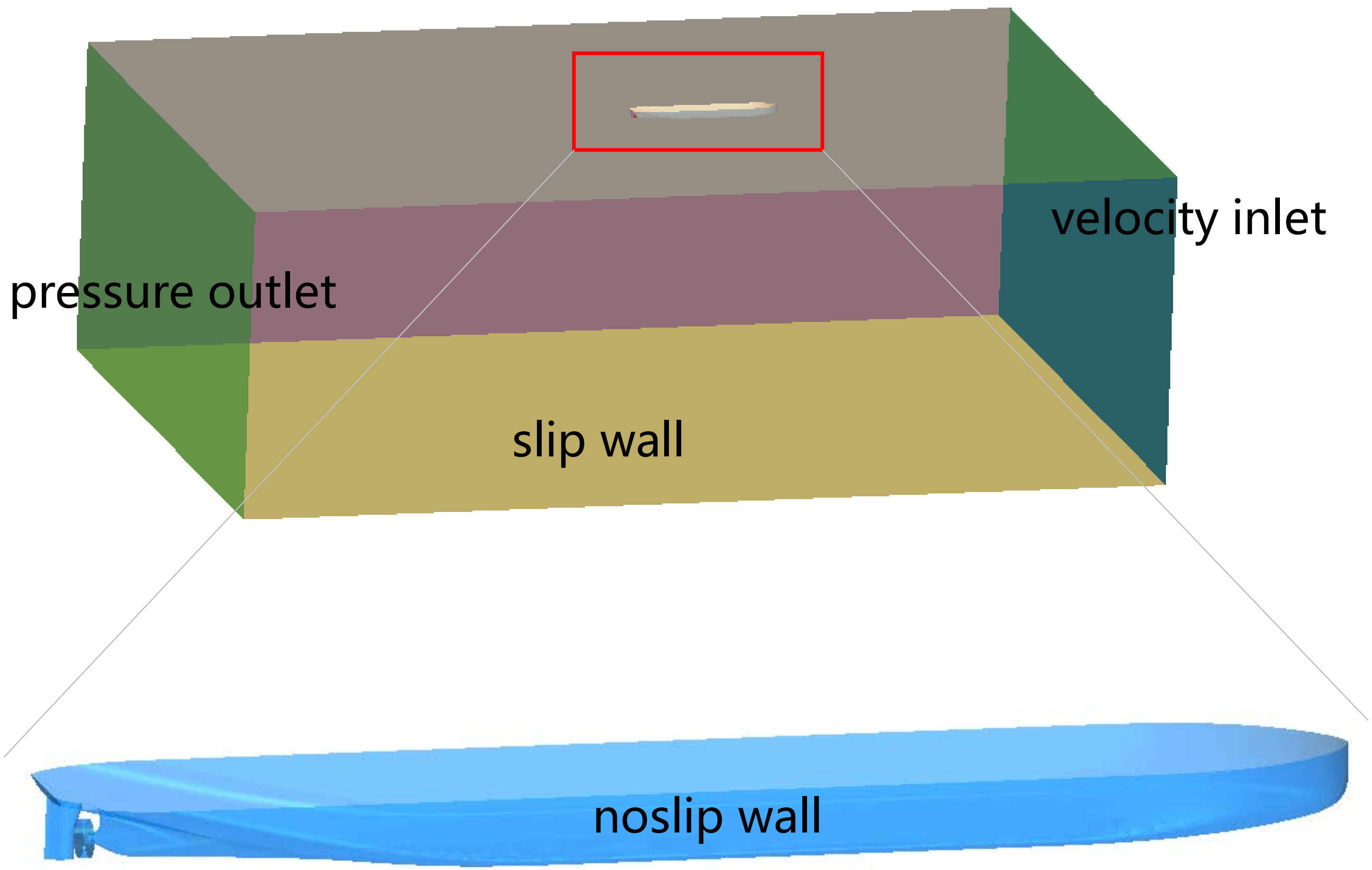
- 叠模法，不考虑空泡及强度
- SST k-ω 湍流模型
- 模型尺度（可与试验数据对比）

自航条件下的优化计算

- 600+ 万网格，TriMesh
- 旋转区域（MRF）
- 自动变换转速以满足插值需求
- 2个算例/小时（7个节点，168核）



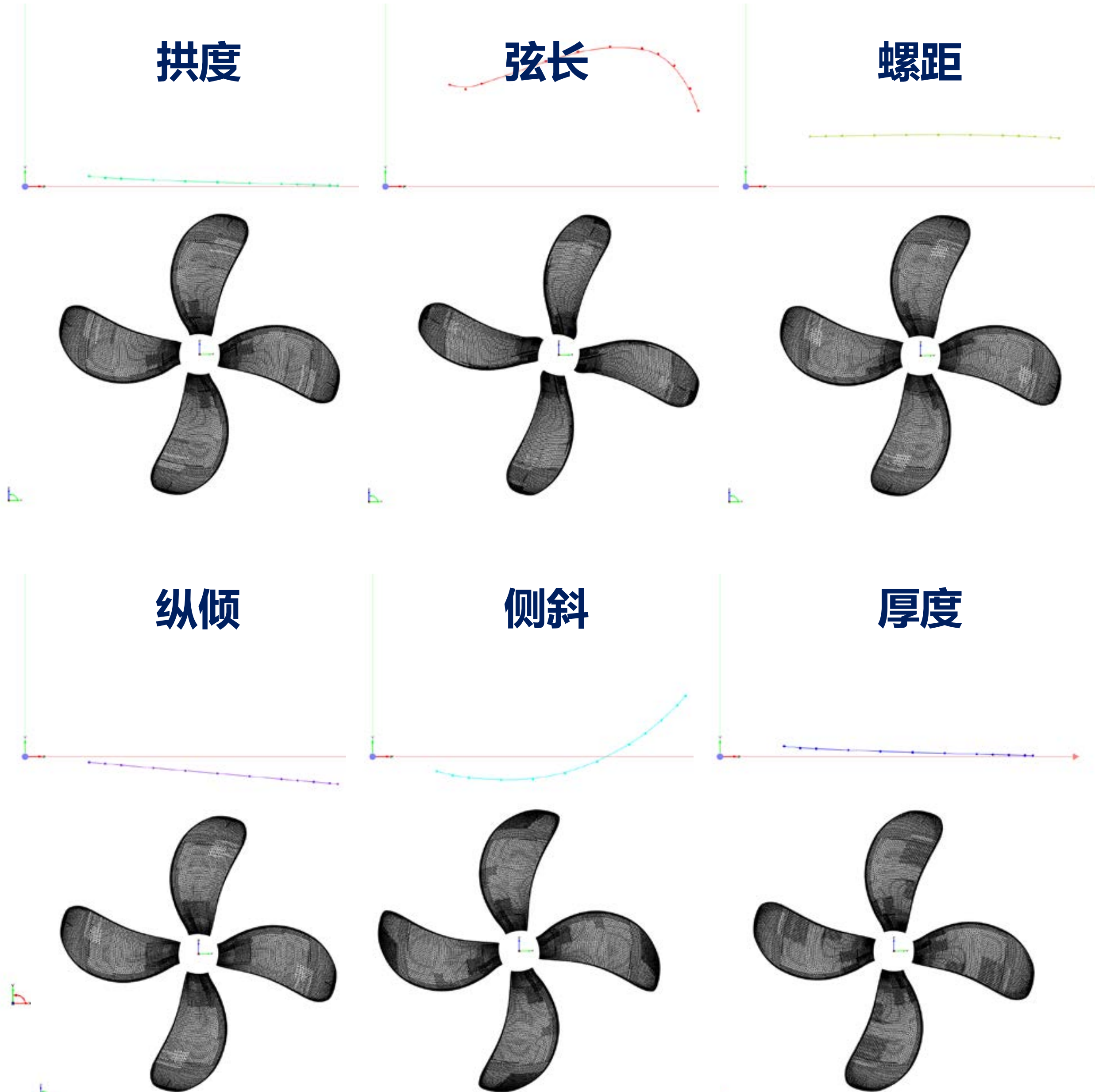
边界条件设定



设计变量及约束

设计变量
- 拱度
- 弦长
- 螺距
- 纵倾
- 侧斜
- 厚度

约束条件
- 转速（7.688 ~8.385 rps）



优化目标及优化策略

优化目标

- 螺旋桨收到功率 P_D

阻力	推力	扭矩	转速
Rt1	T1	Q1	n1
Rt2	T2	Q2	n2
Rt3	T3	Q3	n3

$$P_D = 2\pi Q n$$

$$Q=\frac{(Q_1-Q_2)(n_1-n_3)-(Q_1-Q_3)(n_1-n_2)}{(n_1^2-n_2^2)(n_1-n_3)-(n_1^2-n_3^2)(n_1-n_2)}n^2+\frac{(Q_1-Q_2)(n_1^2-n_3^2)-(Q_1-Q_3)(n_1^2-n_2^2)}{(n_1-n_2)(n_1^2-n_3^2)-(n_1-n_3)(n_1^2-n_2^2)}n+Q_1-\frac{(Q_1-Q_2)(n_1-n_3)-(Q_1-Q_3)(n_1-n_2)}{(n_1^2-n_2^2)(n_1-n_3)-(n_1^2-n_3^2)(n_1-n_2)}n_1^2-\frac{(Q_1-Q_2)(n_1^2-n_3^2)-(Q_1-Q_3)(n_1^2-n_2^2)}{(n_1-n_2)(n_1^2-n_3^2)-(n_1-n_3)(n_1^2-n_2^2)}n_1$$

优化策略

- 灵敏度分析

（Dakota-sensitivity analysis）

- 基于灵敏度分析，再次进行优化

（Dakota-global optimization on response surface）

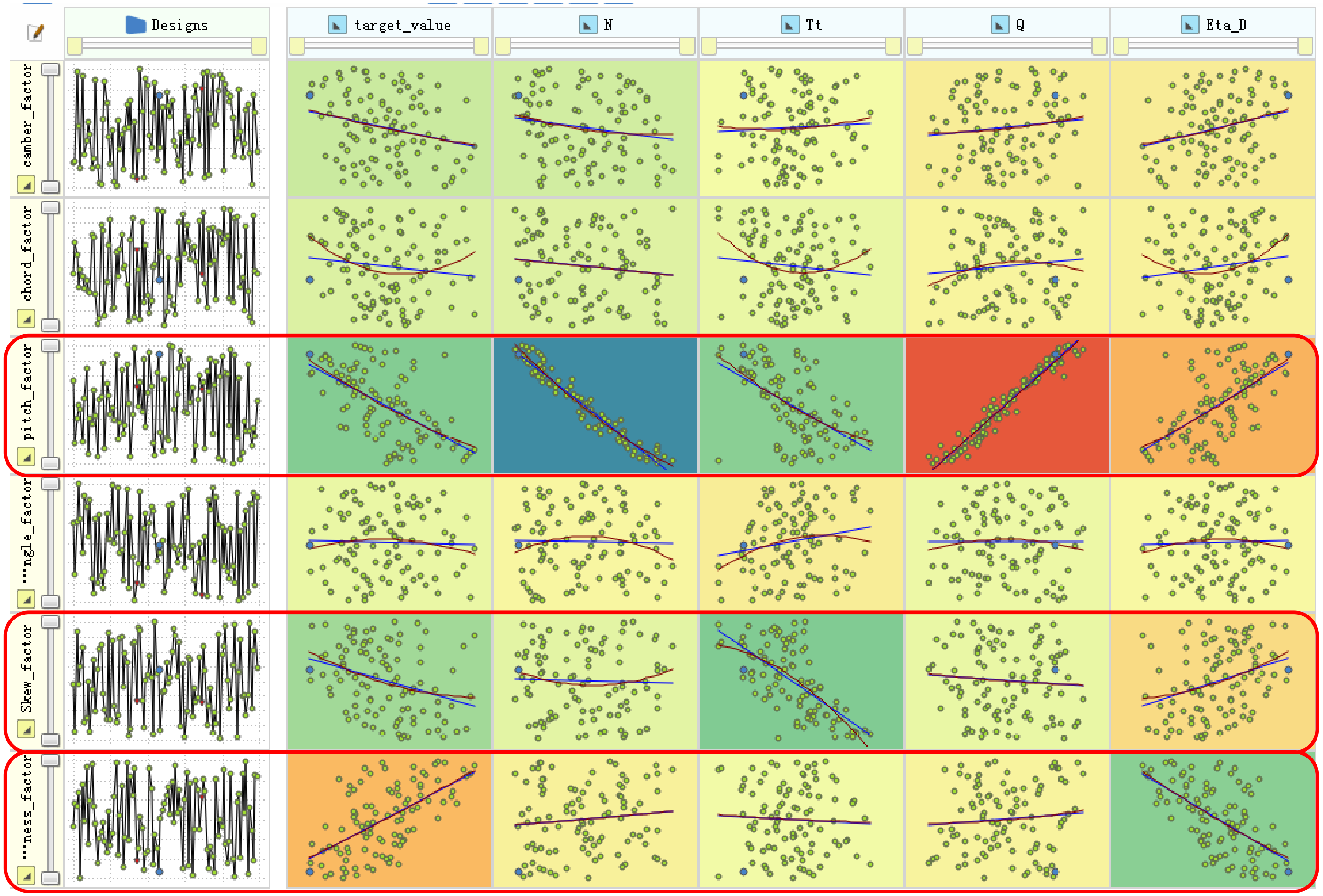
灵敏度分析

灵敏度分析

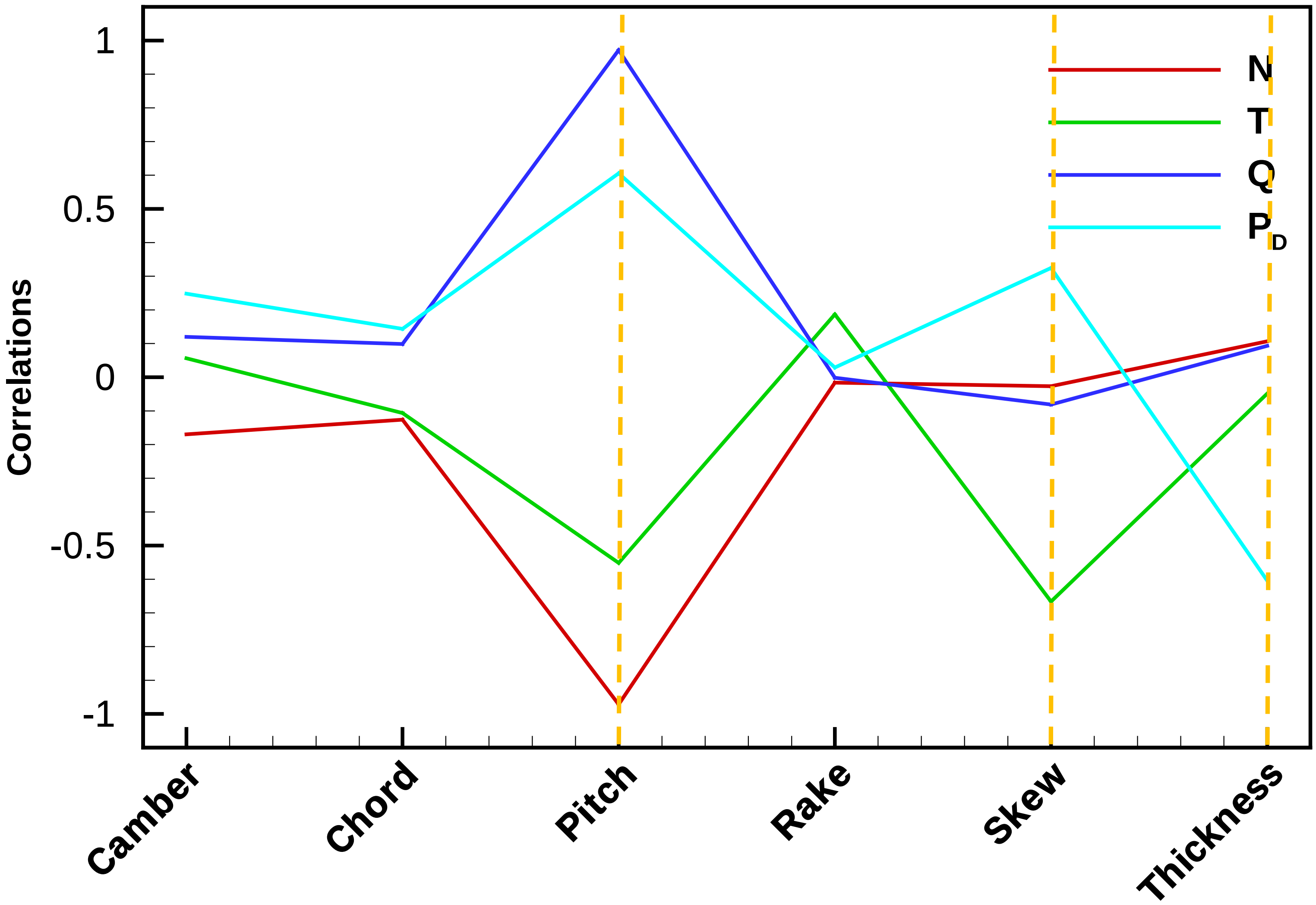
- Dakota
- 100 样本数
- 设计变量
  - 拱度
  - 弦长
  - 螺距
  - 纵倾
  - 侧斜
  - 厚度

优化目标

- 螺旋桨收到功率P_D



灵敏度分析


Correlations
1
0.5
0
-0.5
-1
N
T
Q
P D
Camber
Chord
Pitch
Rake
Skew
Thickness

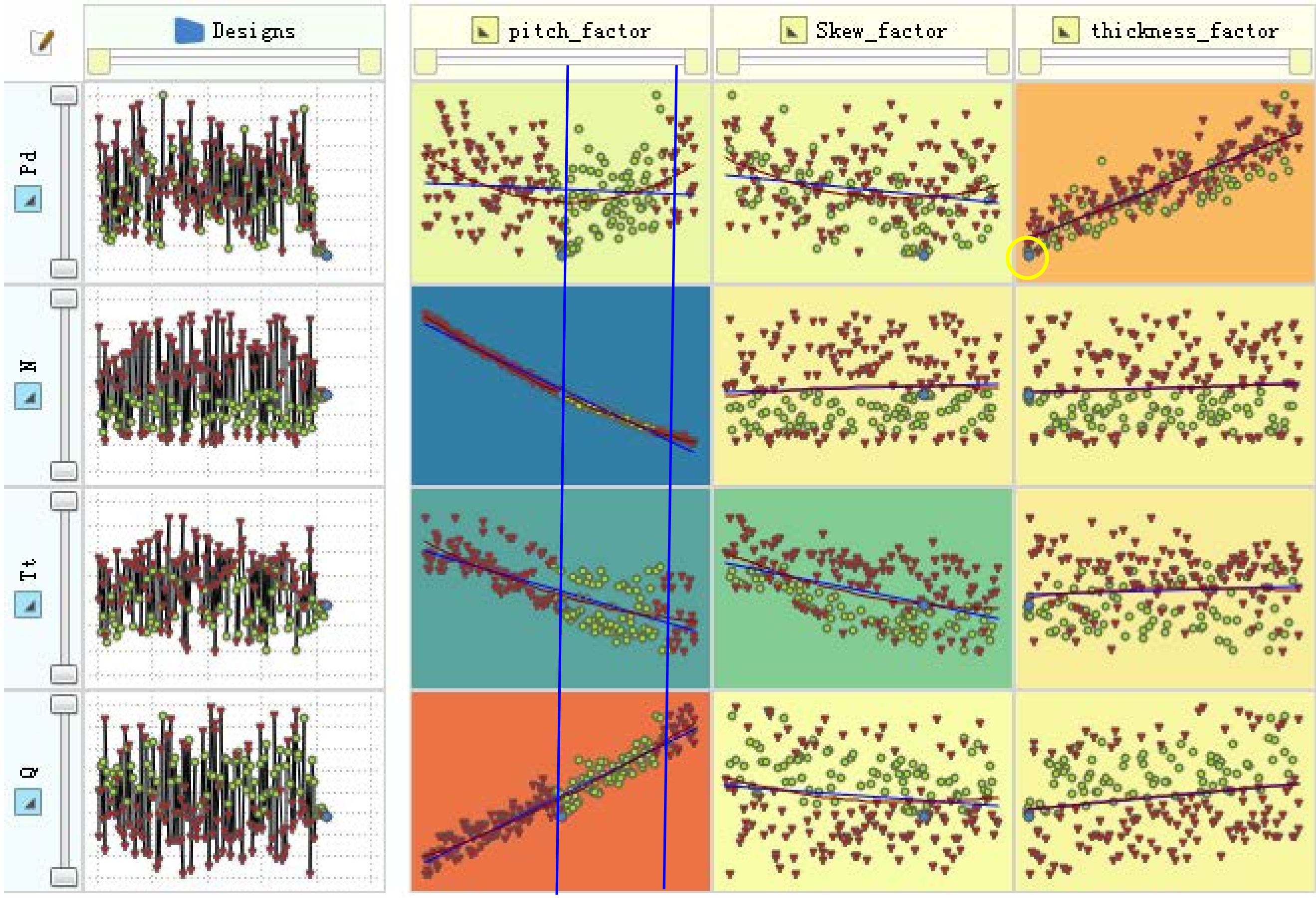
螺旋桨优化

再次优化

- Dakota
  响应面上的全局优化
- 200样本数
- 设计变量
  - 螺距
  - 侧斜
  - 厚度

优化目标

- 螺旋桨收到功率P_D



结果分析


opt_02_des0210

FDesign

opt_02_des0210

Fri May 24 17:23:43 2019 | created
Fri May 24 17:51:10 2019 | finalized

Design Variables

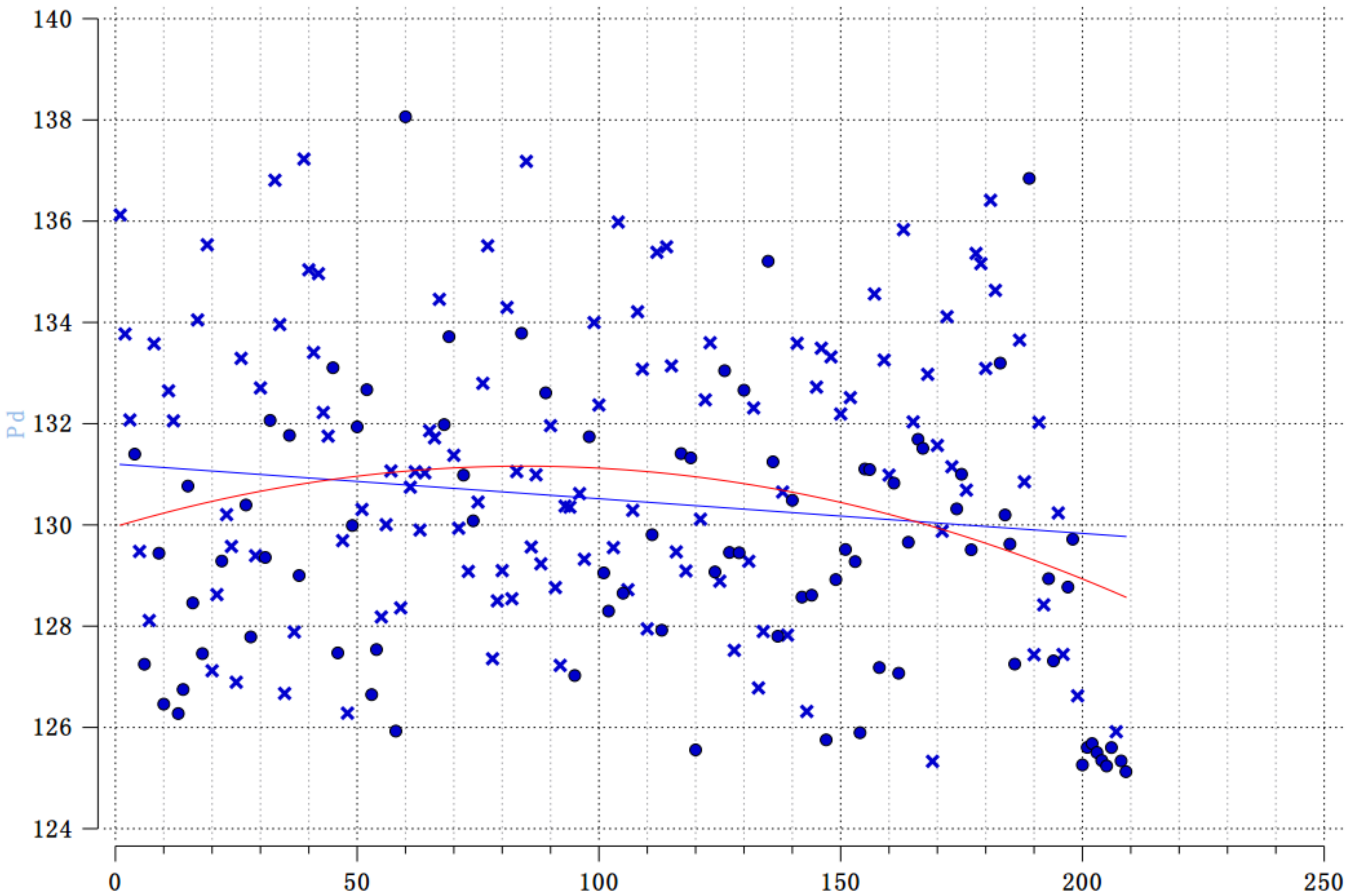
Name	Lower Bound	Value	Upper Bound
|opt_values|pitch_factor	-200	12	200
|opt_values|Skew_factor	-200	90	200

Evaluations

Name	Value	Is Objective
|result_value|Pd	125.126	Yes
|result_value|Eta_D	0.69856	No
|result_value|N	8.3436	No
|result_value|Tt	66.9187	No
|result_value|Q	2.38678	No

Constraints

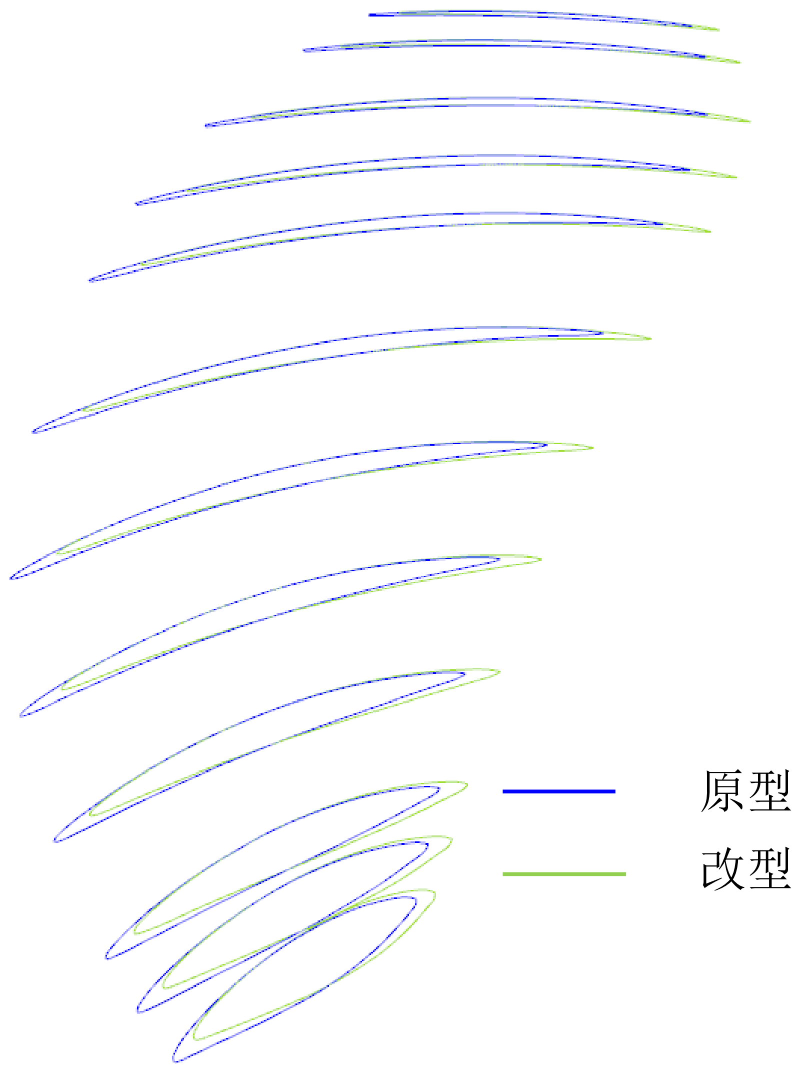
Name	State	Value	Comparator	Limit	Is Considere
N_lower	Valid	8.3436	>=	7.688	Yes
N_upper	Valid	8.3436	<=	8.385	Yes



几何改进

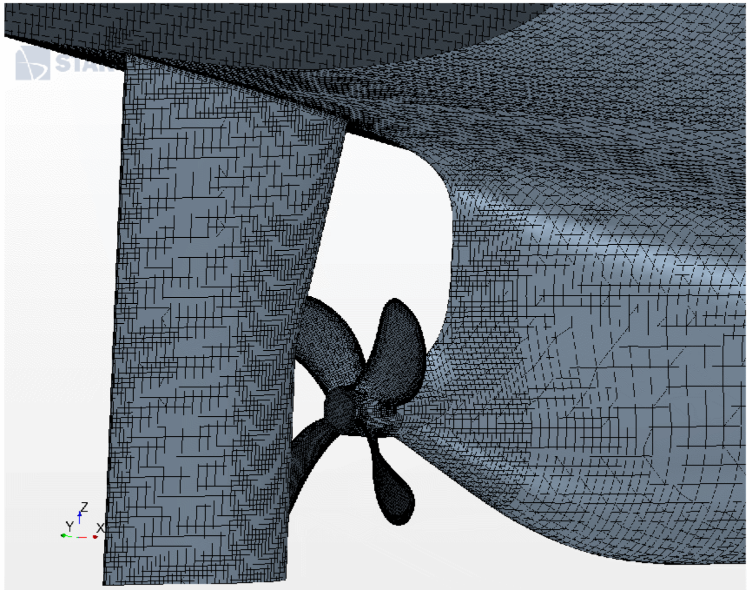
	原型	改型	变化量（最大值）
螺距因子	0	12	3.0244 mm
侧斜因子	0	90	5.5701 mm

- 螺距增加；
- 浆叶侧斜增加；

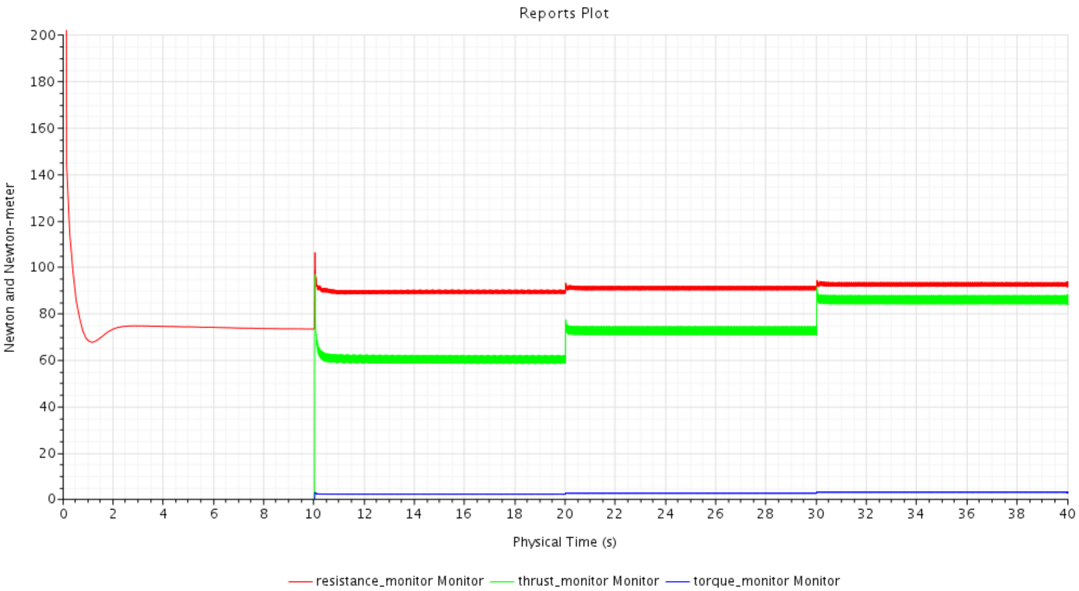


数值验证

计算方法
- 叠模法，不考虑空泡及强度
- SST k-ω 湍流模型
- 模型尺度



自航条件下的优化计算
- 600+ 万网格，TriMesh
- 旋转区域（滑移动网格）
- 自动变换转速以满足插值需求
- 39小时（7个节点，168核）



优化效果

螺旋桨模型尺度	原型	改型	试验值
转速 (rps)	8.0782	8.0940	8.189
推力 (N)	64.3584	61.0824	62.739
扭矩 (N·m)	2.3267	2.2083	2.222
P_D (W)	118.0959	112.3055 （-4.90%）	114.3285 （-3.20%）

结论与展望

结论

- CAESES 是强大的优化工具，可快速实现多种几何设计及变形
- 基于 CAESES 工具，自航条件下的螺旋桨优化取得较好的结果

展望

- 考虑尺度效应在优化中的影响?
- 结合强度就按进行螺旋桨的优化?
- 螺旋桨空泡进行螺旋桨的优化?
- 结合节能装置一起优化?

Thank you for your attention!