



基于代理面模型的船舶阻力快速 优化技术研究

上海船舶运输科学研究所

目录

一 研究概况

二 参数化建模及样本数据生成

三 代理面模型构建

四 船型优化测试应用



—

研究概况

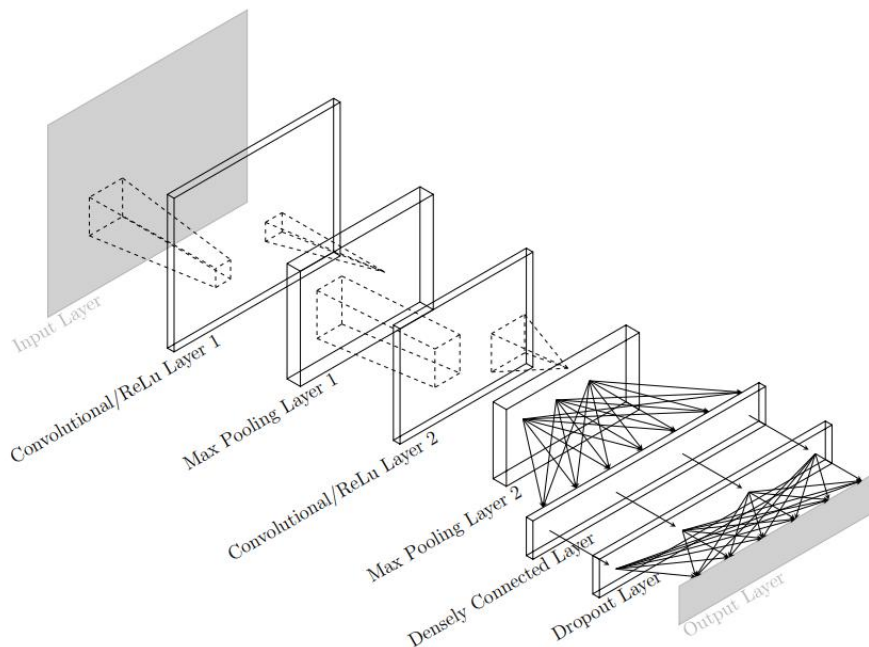
研究背景：

- 船型优化设计一直以来都是人们研究的重点内容。
- 引入近似模型预估船舶性能以减轻数值计算的负担、提高效率。

研究目标：

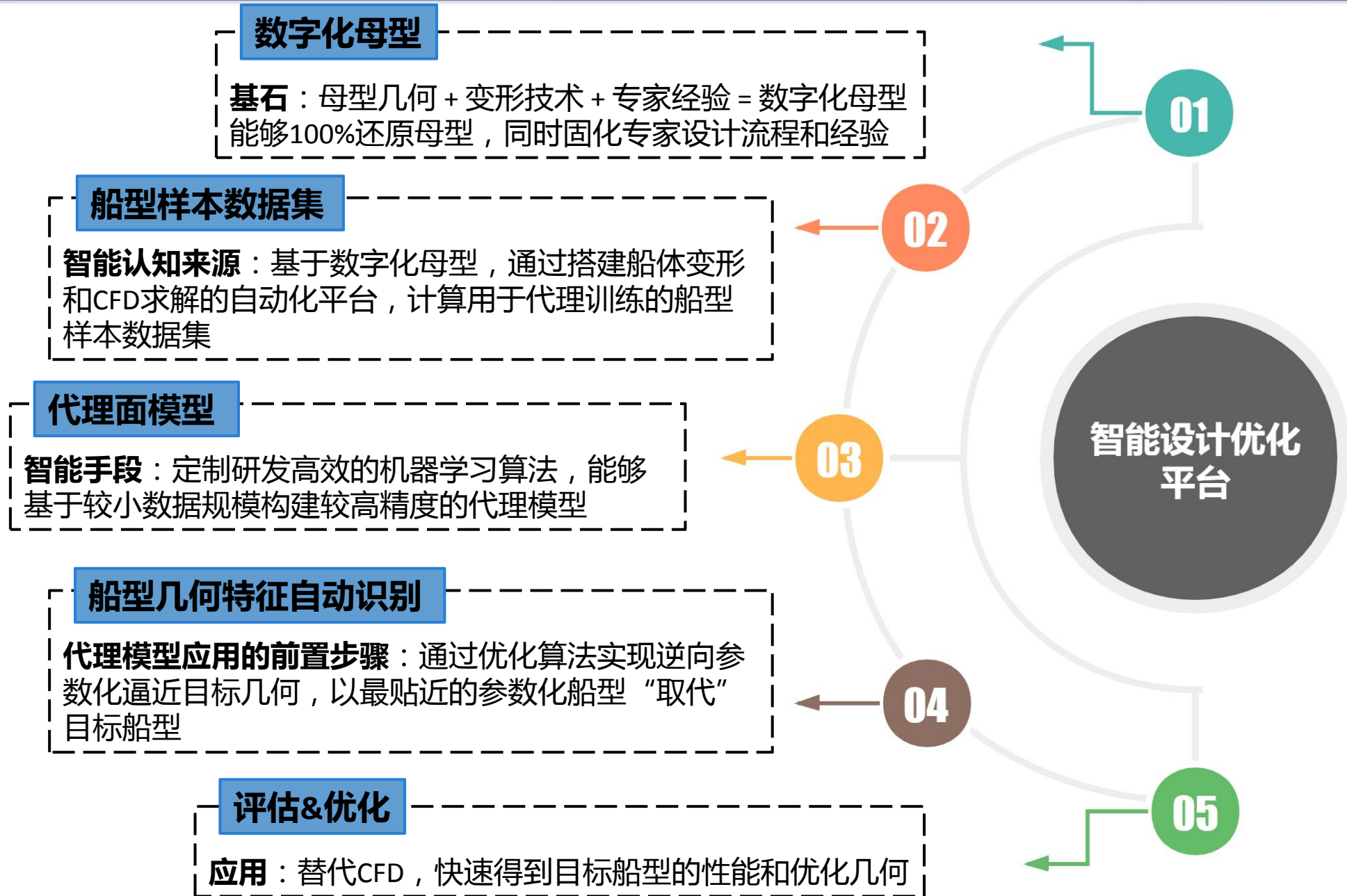
- 通过船型特征分析构建参数化模型，结合CFD技术实现大量船型样本及性能数据生成；通过机器学习算法构建船型性能代理模型，实现船型性能快速预报及船型快速优化设计。

输入变量： 船舶首尾、全局变型参数



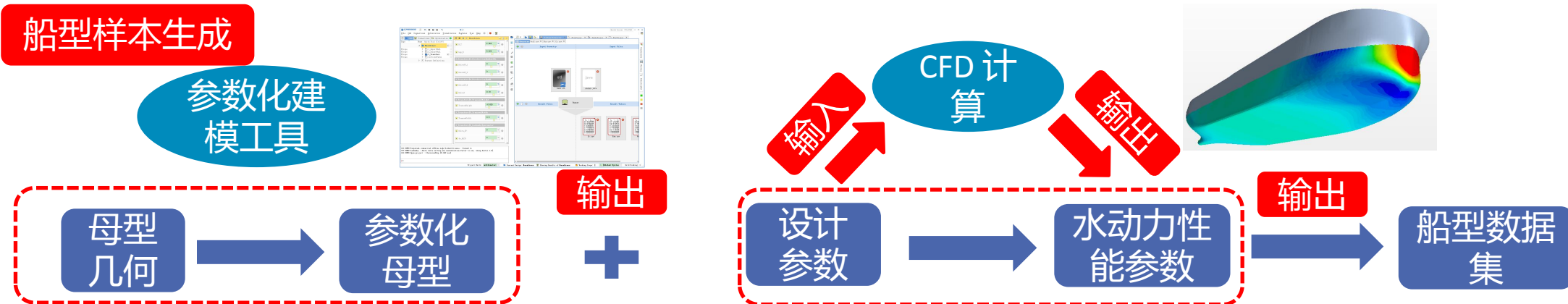
输出目标值： 船舶水动力性能目标函数

1.3 研究技术路线

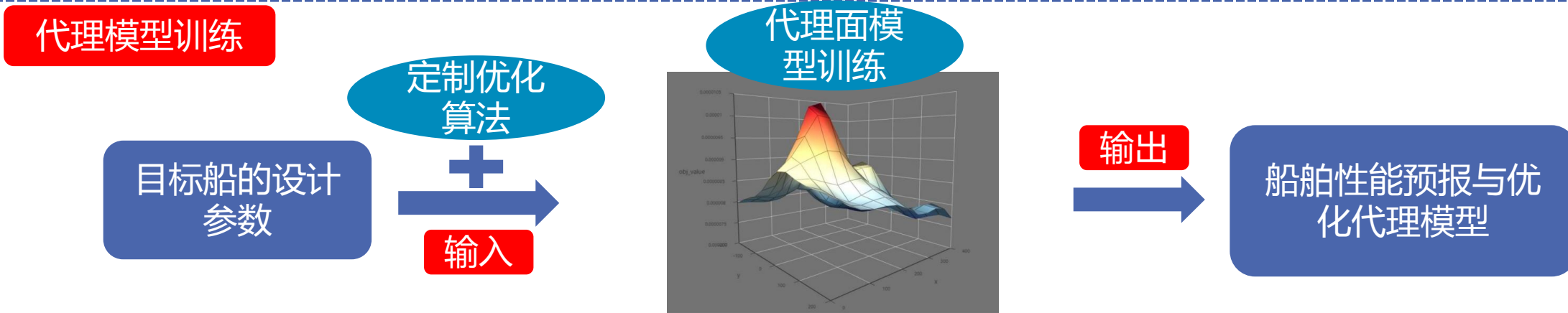


1.3 研究技术路线-输入与输出

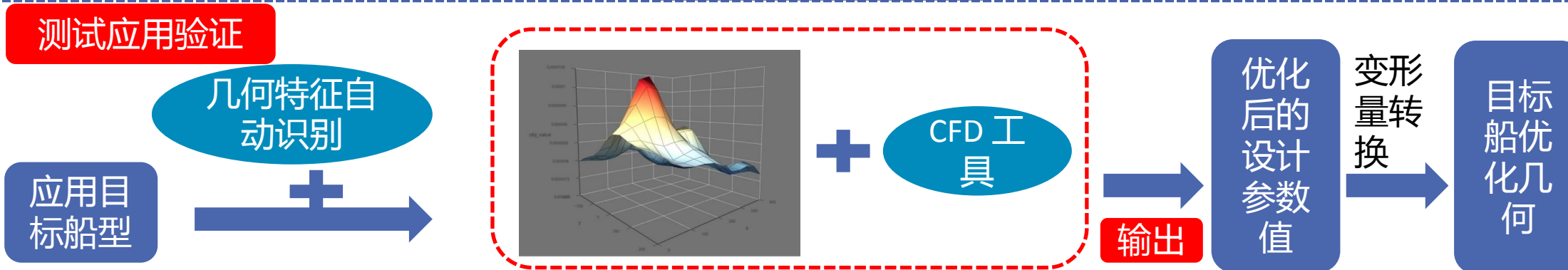
船型样本生成



代理模型训练



测试应用验证



A blue arrow graphic pointing to the right, containing two white horizontal bars.

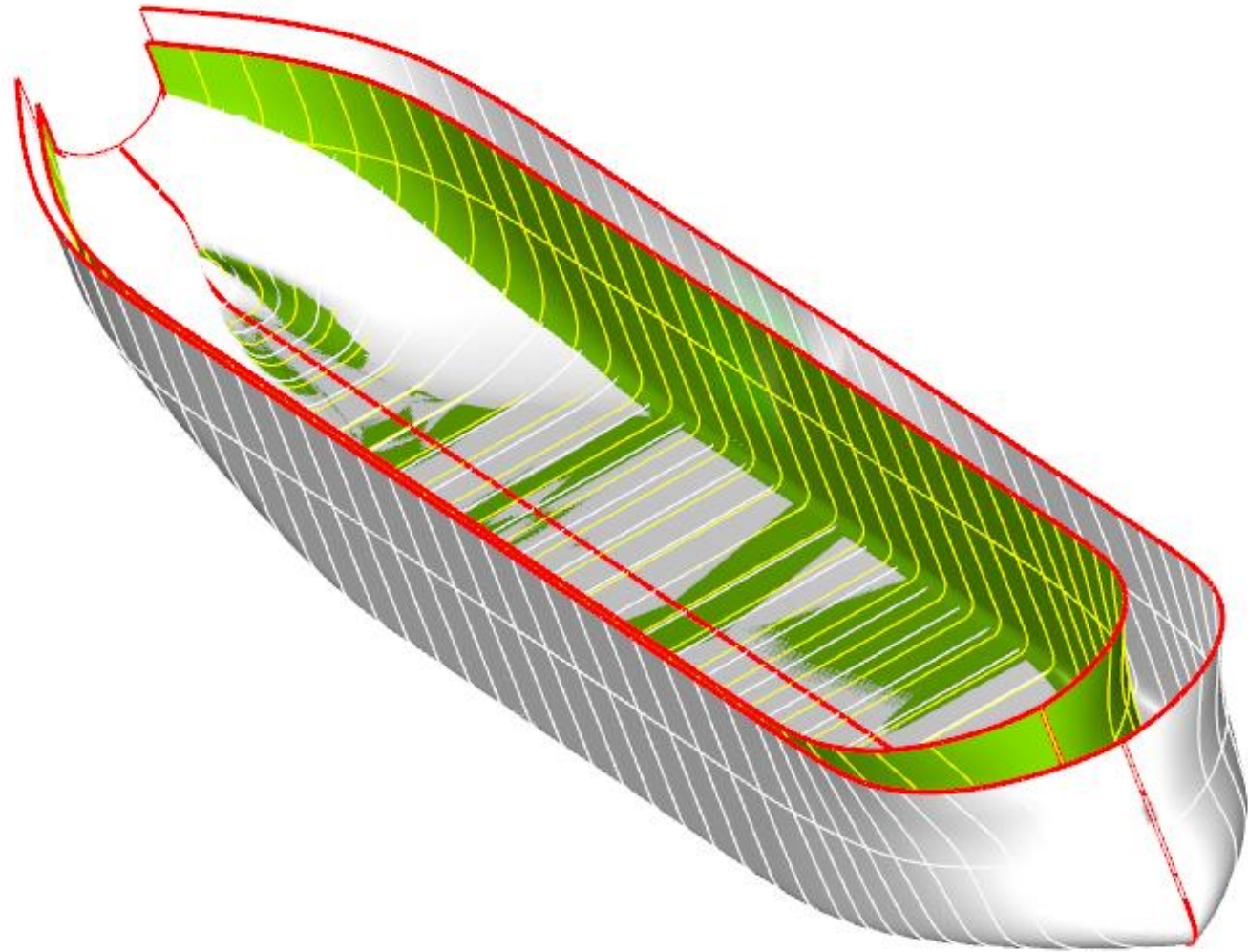
船型参数化建模

二、船型参数化建模

变型参数选取

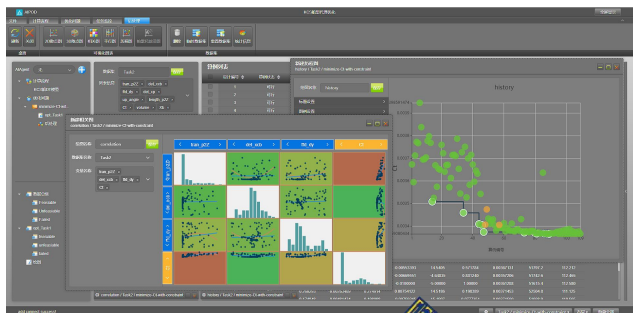
参数类别	序号	参数名称	变型区域
全局变型参数	1	Lpp/B	长宽比
	2	B/T	宽度吃水比
	3	Delta_Cp	菱形系数变换
	4	Delta_LCB	浮心纵向位置
艏部变型参数	5	Delta_Y	首部丰满度整体变换
	6	DeltaUV_1	首部UV度变换近船中
	7	DeltaUV_2	首部UV度变换近入水段
	8	FBDZ	船首舦部变换
	9	DeltaUV_X	首部水线形状变换
艉部变型参数	10	SternUV	尾部型线UV度变换
	11	Stern_SAC	尾部整体丰满度变换
	12	SternDZ	艉轴附近线型变换
	13	TransomW	艉封板宽度变换
	14	TransomH	艉封板高度变换

二、船型参数化建模

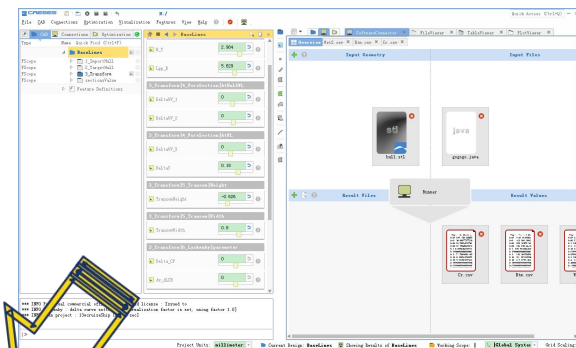


船型样本点生成

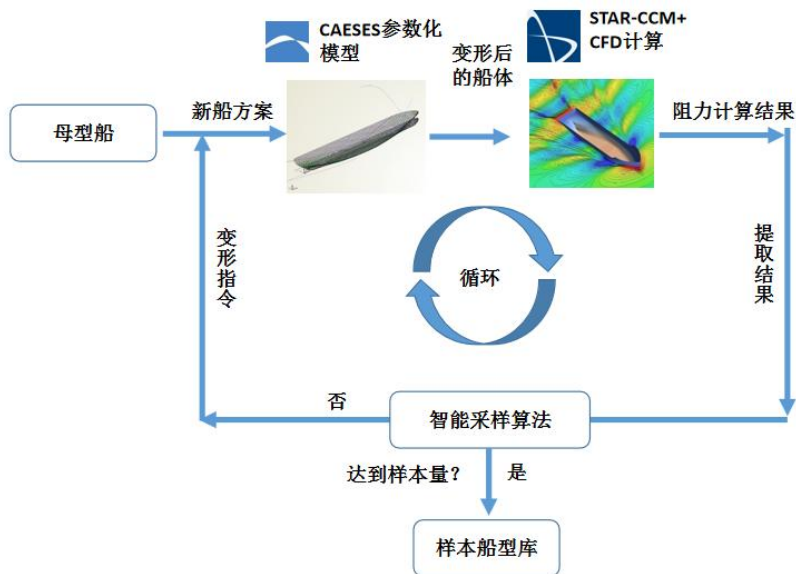
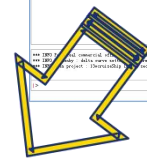
智能化采样引擎



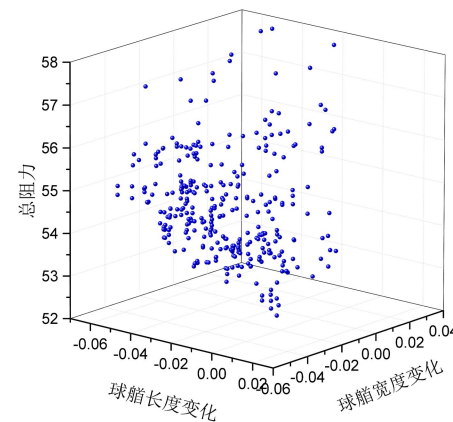
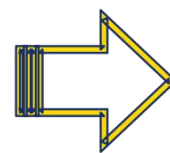
基于CAESES实现变形与CFD计算集成



船型样本采样平台



船型样本数据



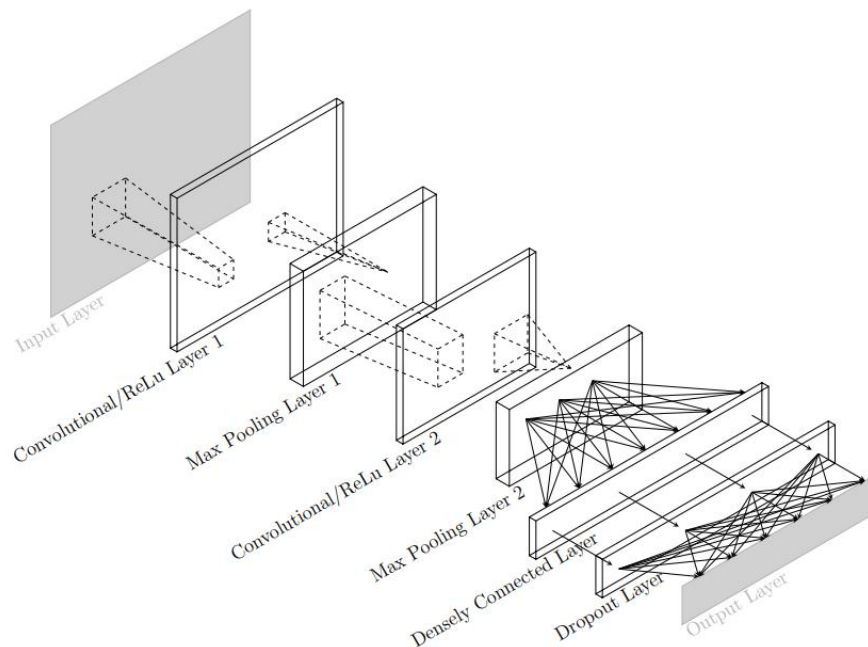


代理面模型构建

代理模型构建步骤：

- 样本数据质量检查：
- 样本数据特征工程分析：
- 代理模型训练
- 精度分析与补点迭代升级

输入变量： 船舶首尾、全局变型参数



输出目标值： 船舶阻力系数、排水体积、湿表面积等

3.1 数据质量检查

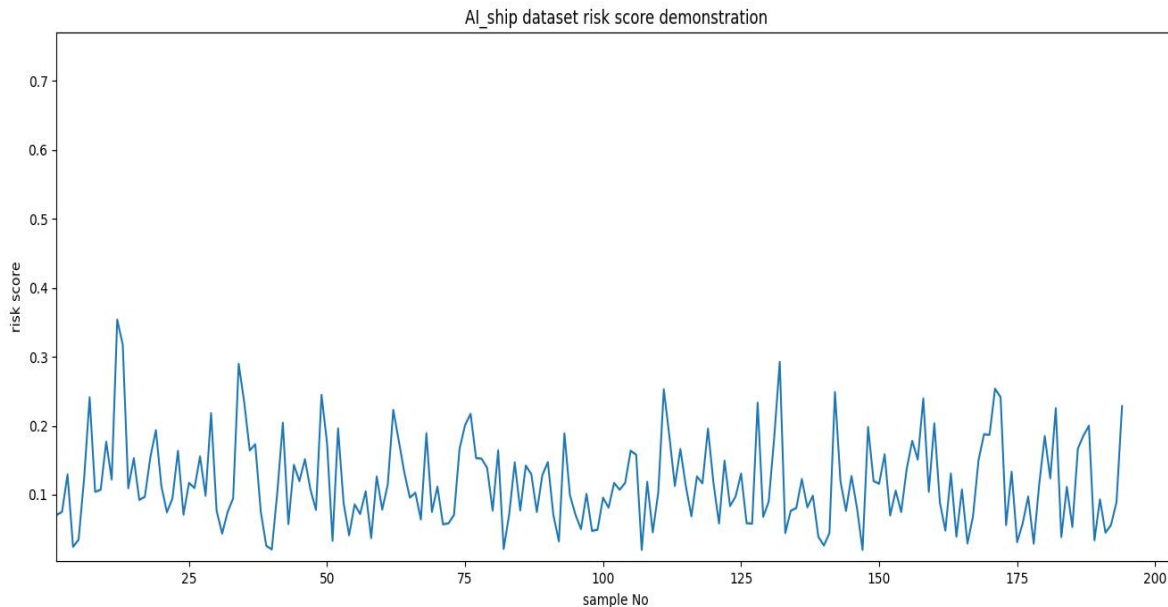


Fig. 初代训练样本集pointwise risk一致性校验：数据质量一致性较高，基本可以排除存在CFD计算结果无效或人为数据统计失误的问题。这一操作将极大加速工作人员在前期快速排除计算流程配置错误、数据传递不一致、CFD计算设置不合理等“深藏”的隐患。

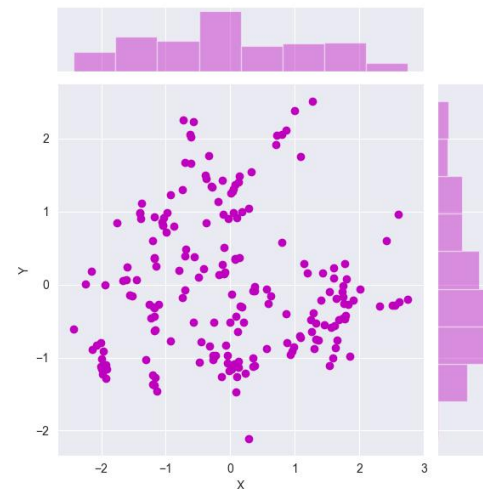


Fig. 初代训练样本集2D分布可视化展示

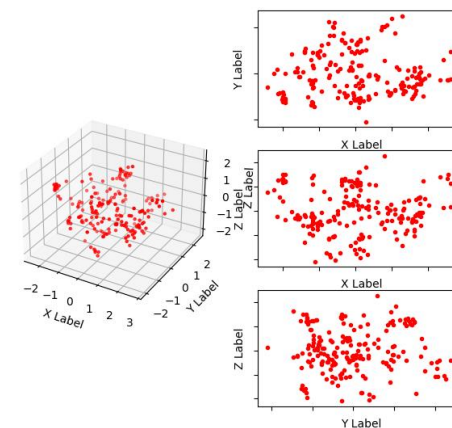


Fig. 初代训练样本集3D分布，数据点聚拢情况良好，但对于设计空间当前195组数据采样点对于空间的探索是稀疏的

三、代理模型构建

3.2 特征工程分析

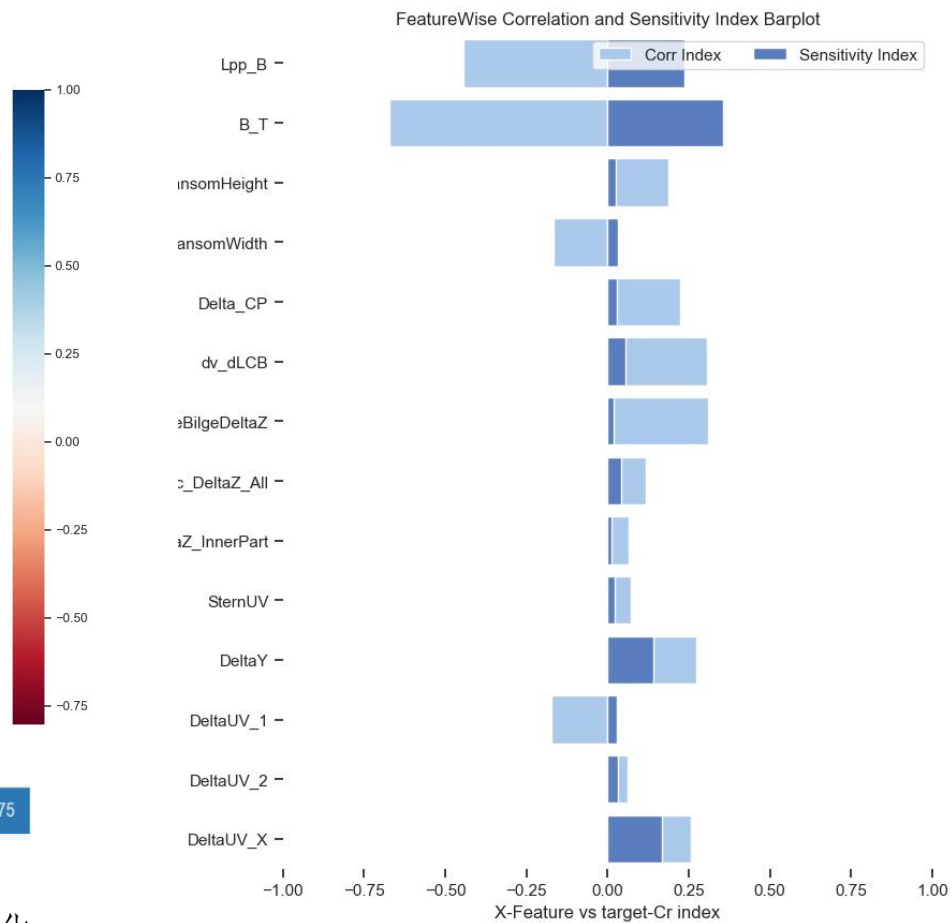
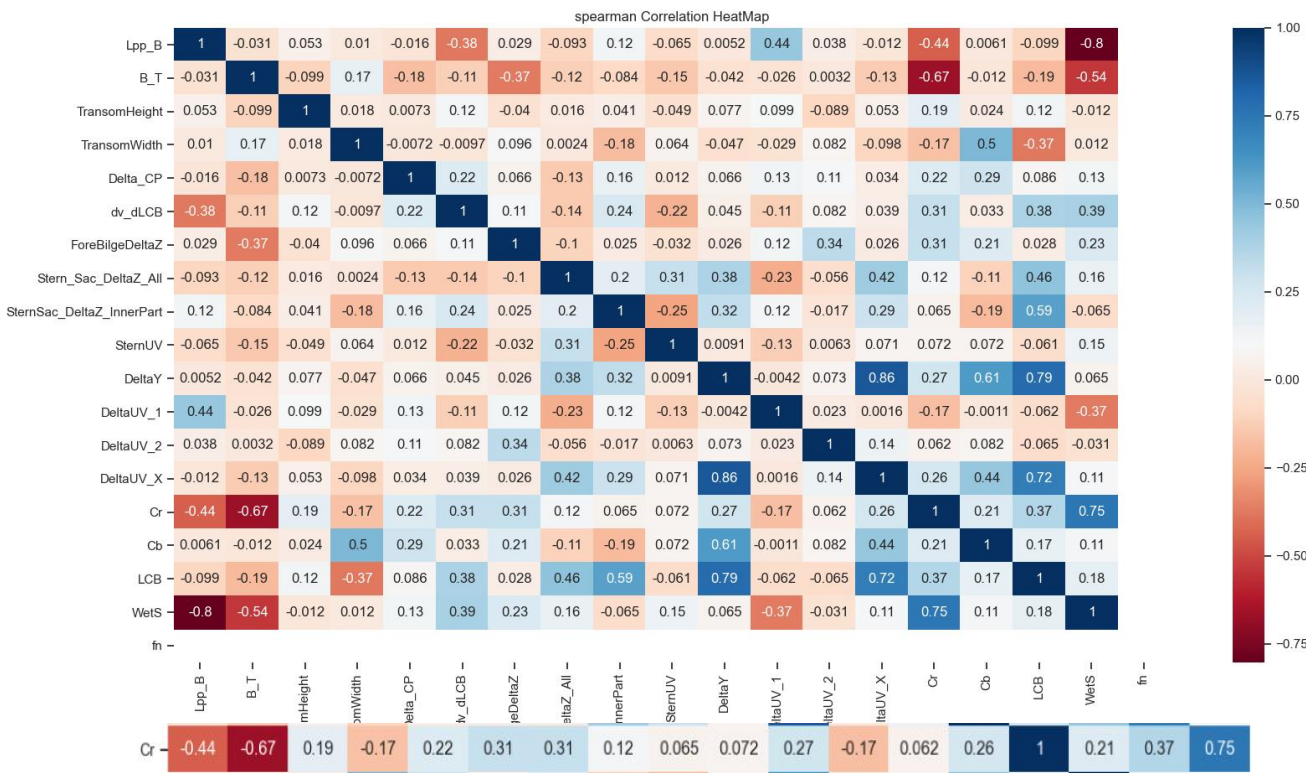


Fig.针对代理面模型目标函数进行特征工程分析,14组参数化设计变量的线性相关性矩阵分布:可以发现其中以前两位设计参数Lpp_B和B_T对Cr的相关性影响模式最为明显,其次是dv_DLCB\ForeBilgeDeltaZ\DeltaY等变量。

3.2 特征工程分析

Tab. 针对当前数据集的不同输入特征相较于目标Cr的相关性、敏感度、重要性的统计情况

Feature	Correlation Index	Sensitivity Index	Feature Importance
Lpp_B	-0.443718	0.238453	0.168908
B_T	-0.671489	0.355776	0.386652
TransomHeight	0.187153	0.025944	0.021333
TransomWidth	-0.165251	0.031421	0.027672
Delta_CP	0.224315	0.028811	0.013302
dv_dLCB	0.305903	0.056096	0.032697
ForeBilgeDeltaZ	0.308091	0.018246	0.033089
Stern_Sac_DeltaZ_All	0.116691	0.041780	0.015918
SternSac_DeltaZ_InnerPart	0.064627	0.011231	0.031103
SternUV	0.071534	0.022758	0.014814
DeltaY	0.273925	0.140970	0.046193
DeltaUV_1	-0.172962	0.028740	0.021761
DeltaUV_2	0.062177	0.031977	0.014542
DeltaUV_X	0.256517	0.167428	0.172015

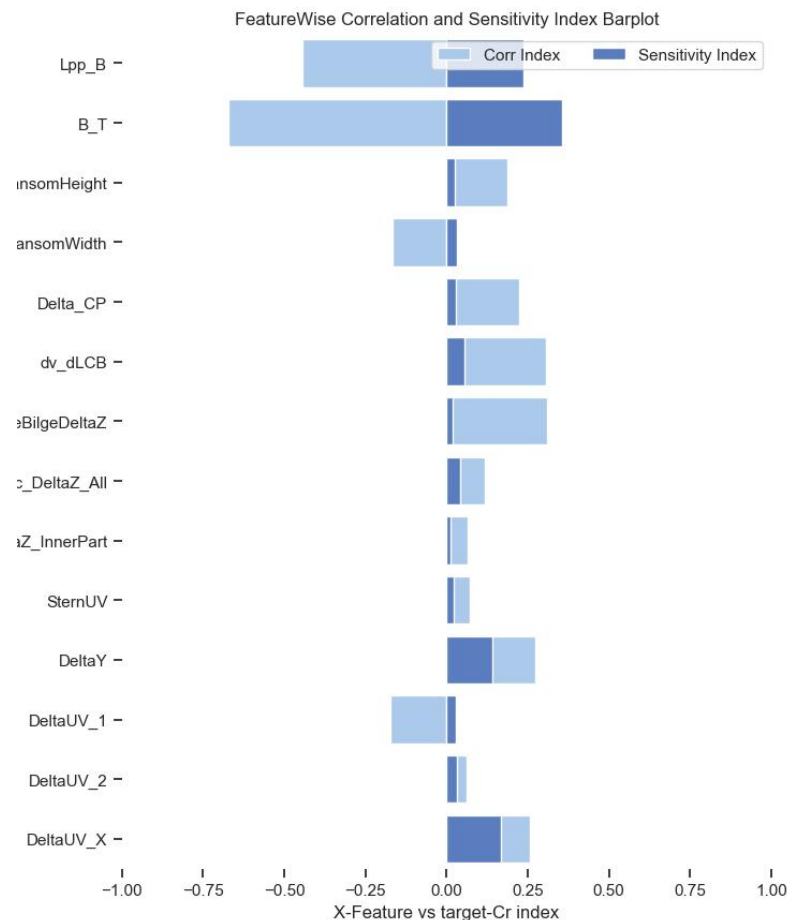
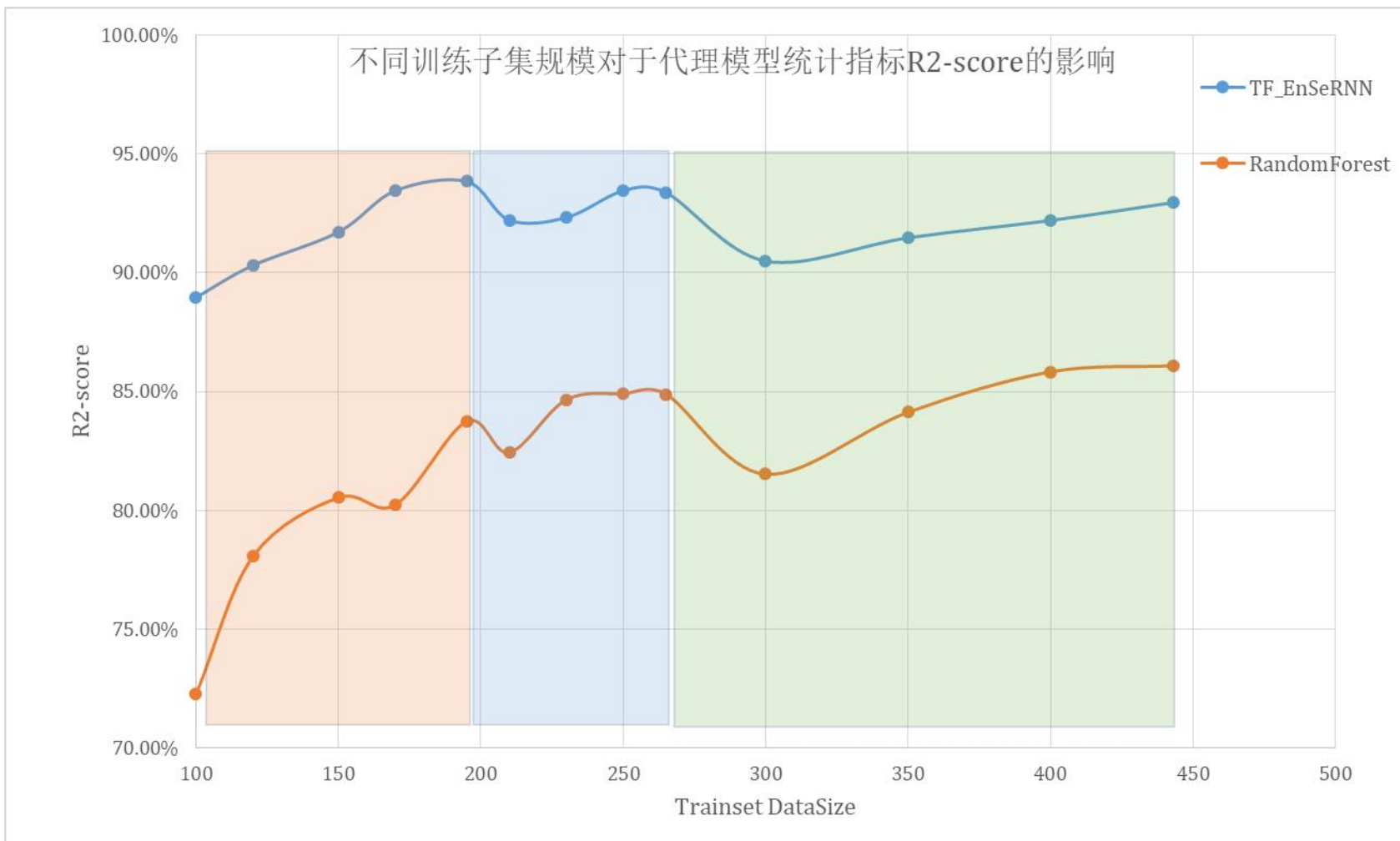


Fig. 基于TF_EnSeRNN训练得到的代理模型获取的嵌入式敏感度分析结果和基于相关性统计获取的feature correlation分布融合对比情况

3.3 代理模型训练及多轮补点迭代升级



Smart-Infill-Sampling 智能采样

三、代理模型构建



3.3 代理模型训练及多轮补点迭代升级

Tab.训练算法为RandomForest，以整体数据集共443组数据进行CV抽样测试，验证不同训练子集规模对于模型精度的影响情况

Method=RandomForest, model CV-metrics against different trainset datasize

DataSize	R2-score	RMAE	RMAE-std	Tf-accu
100	60.07%	4.41%	0.034	84.88%
120	64.40%	4.29%	0.033	83.69%
150	68.33%	4.03%	0.031	84.60%
170	74.47%	3.66%	0.029	86.70%
210	79.21%	3.41%	0.027	87.45%
230	77.36%	3.48%	0.029	86.58%
250	81.32%	3.26%	0.026	88.14%
300	81.52%	3.16%	0.027	88.23%
350	84.13%	2.94%	0.025	89.00%
400	85.83%	2.80%	0.024	89.52%
443	86.09%	2.60%	2.20%	90.16%

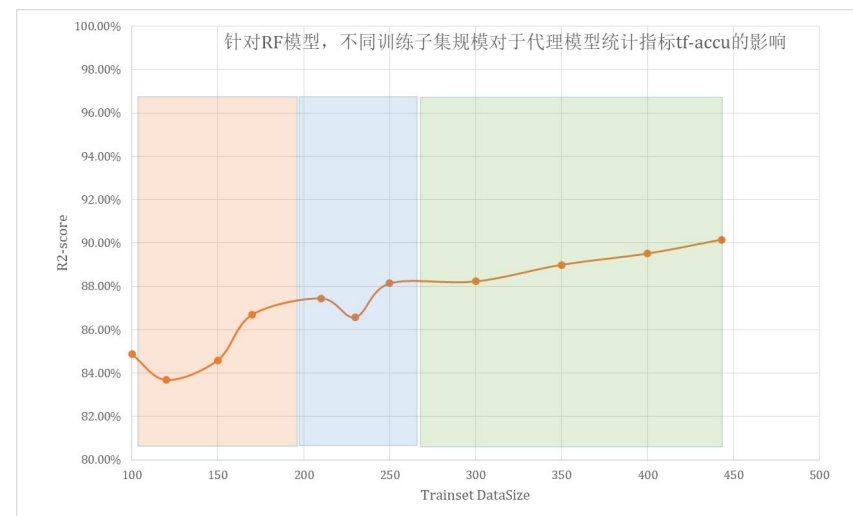
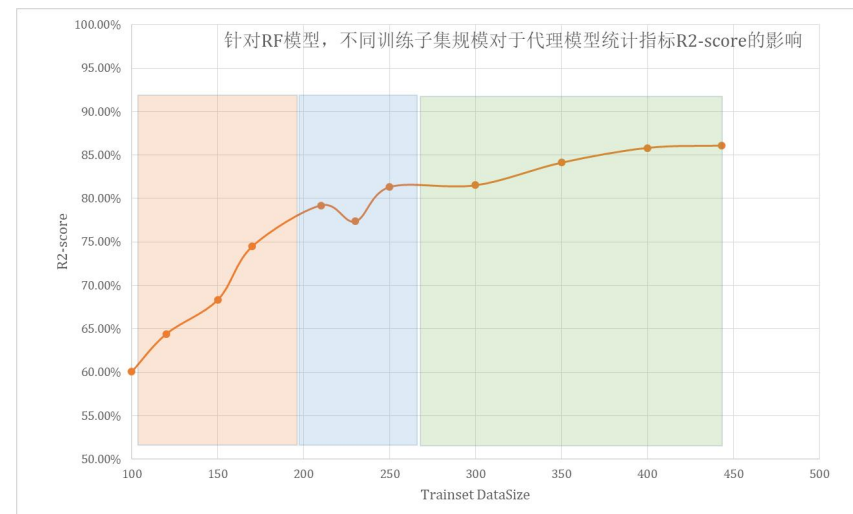
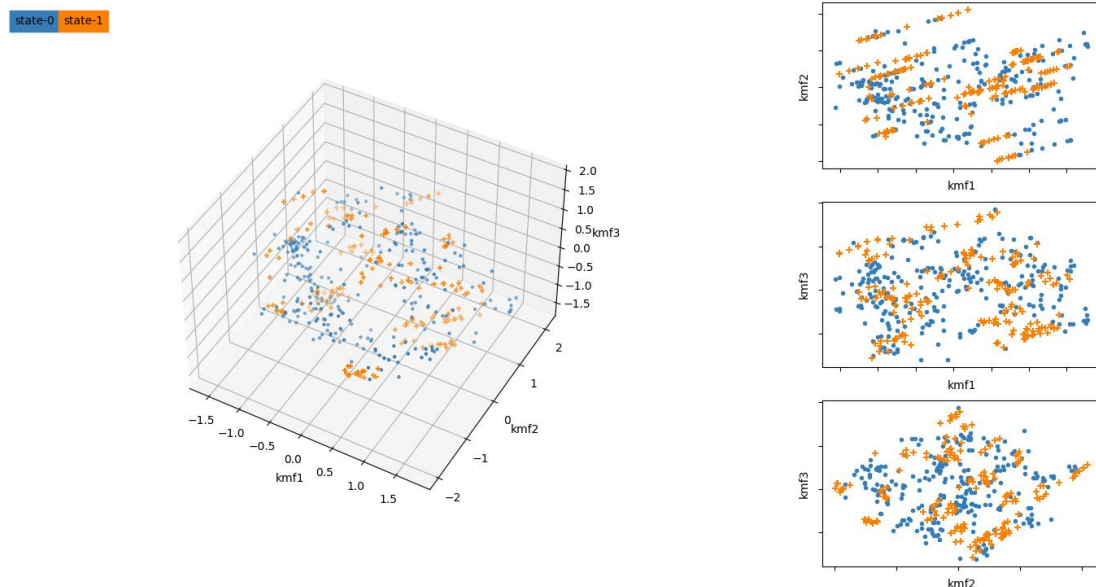


Fig. 不失一般性，选择RF算法。在整体443组数据样本点上进行CV校验，可以发现模型心梗的上升趋势符合正常的数据规模越大，模型精度越高的逻辑

3.3 代理模型训练及多轮补点迭代升级



Tab追加补点后，此前训练误差水平较高的数据点的泛化评估误差

Data Point ID	Before RMAE	After RMAE
195	6.02%	3.02%
158	6.41%	3.26%
135	8.45%	4.65%
14	5.21%	3.32%

Fig. 第二轮智能采样补点后的数据集分布情况：进一步补充在此前采样集稀疏采样的区域，验证了SIS功能有效性

四

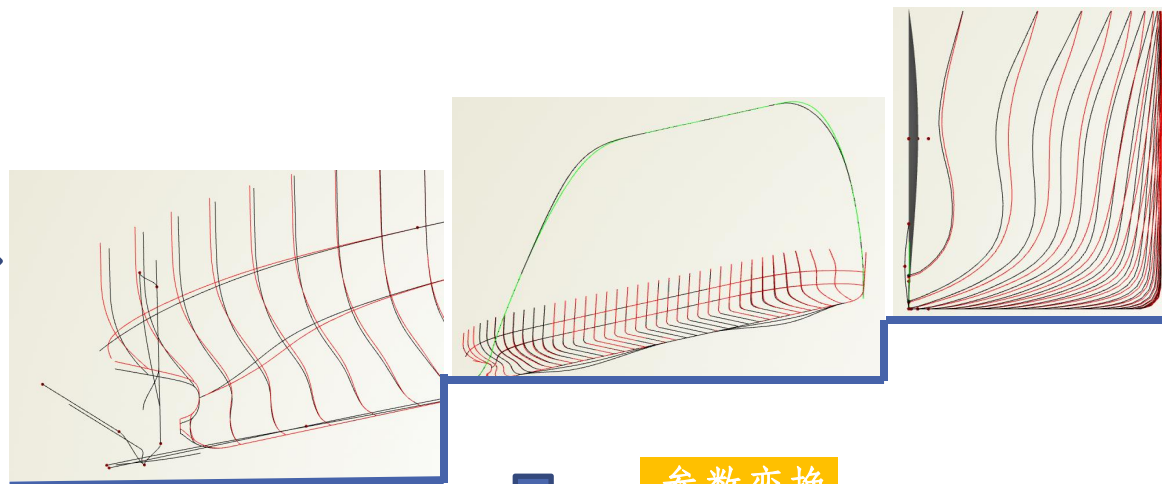
船型优化测试应用

1.2 研究技术路线

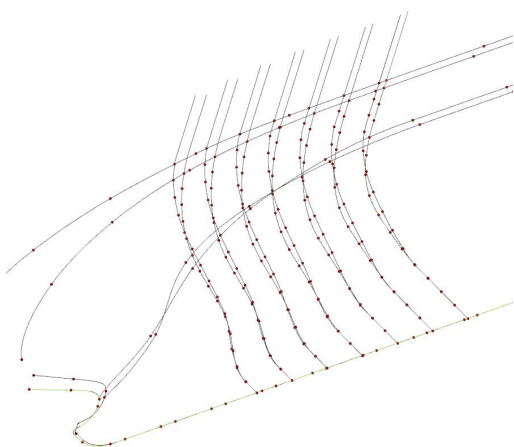
船型逆向功能开发

序号	参数名称	最小值	最大值
1	Lpp_B	5.3	6.0
2	B_T	2.6	3.2
3	TransomHeight	-1	0.7
4	TransomWidth	-1	2
5	Delta_CP	-0.003	0.003
6	Dv_dLCB	-0.0025	0.0025
7	ForeBilgeDeltaZ	-0.15	0.25
8	Stern Sac_deltaZ All	-0.1	0.3
9	SternSac_deltaZ InnerPart	-0.3	0.3
10	SternUV	-0.35	0.35
11	DeltaY	-0.4	0.6
12	DeltaUV_X	-0.2	0.4
13	DeltaUV_1	-0.2	0.3
14	DeltaUV_2	-0.6	0.8

参数定义

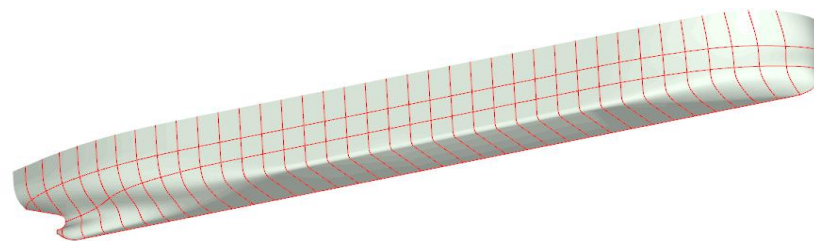


参数变换



逆参数化

```
Feature Definition Editor - Section.1.cad  
General Feature Definitions Arguments Create Function Attributes  
1 plane zplane([0,0,0],[0,0,1])  
2 objectlist list($pos.getValue())  
3 unsigned nog(list.getSize())  
4  
5 sectiongroup sgp1([hseg_1],zplane,$pos)  
6 sgp1.setAttachDistance(ToggleDouble(true,0.004))  
7 sgp1.setResolution(400)  
8  
9 sectiongroup sgp2([hseg_2],zplane,$pos)  
10 sgp2.setAttachDistance(ToggleDouble(true,0.004))  
11 sgp2.setResolution(400)  
12  
13  
14 objectlist theSections1()  
15 objectlist theSections2()  
16 objectlist mean01_list()  
17 double fun2(0)  
18  
19 loop (nog)  
20 beginPersistentSection()  
21 beginCurve temp1(sgp1.getSections().at($i))  
22 temp1.setParameterization("unit_speed")  
23 beginCurve temp2(sgp2.getSections().at($i))  
24 temp2.setParameterization("unit_speed")  
25
```

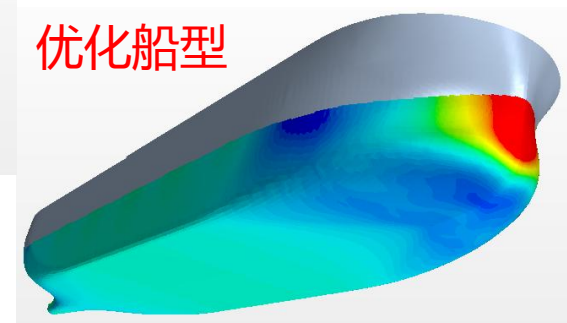
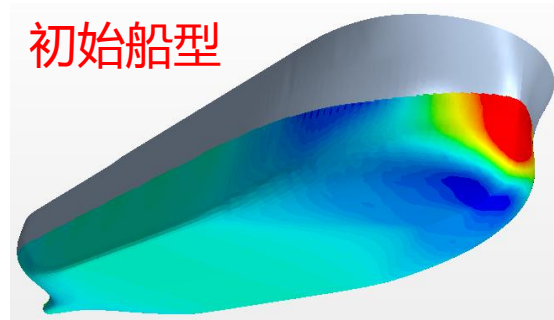


变形效果

4 船型优化测试应用

船型优化测试：船型1

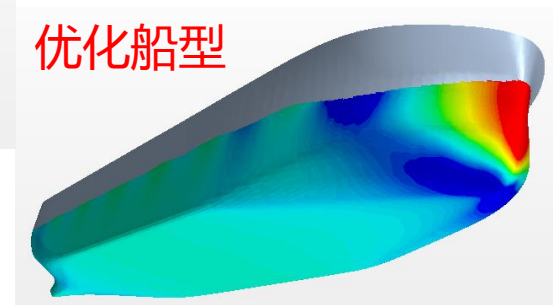
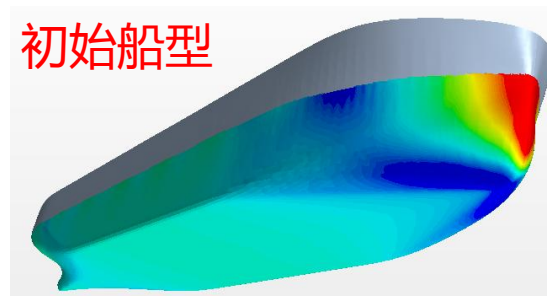
参数	单位	初始船型	优化船型
LPP/B	-	5.392	
B/T	-	2.897	
Fn	-	0.13	
Cr	-	0.6059	0.5844
Pe	kW	12010	11814
Pe-diff%	-	-	-1.63%



4 船型优化测试应用

船型优化测试：船型2

参数	单位	初始船型	优化船型
LPP/B	-	5.702	
B/T	-	2.714	
Fn	-	0.13	
Cr	-	0.7091	0.6661
Pe	kW	11156.9	10891.9
Pe-diff%	-	-	-2.38%



Thank you !

