

CAESES软件在船舶设计中的应用

主讲人：张琪

陈鸽、张琪、段菲

中远海运重工 技术研发中心

2017年10月27日





目录

CONTENTS

1

船体型线设计优化常用方法

2

基于CAESES & SHIPFLOW的球鼻艏优化

3

基于CAESES & STAR-CCM+的月池方案设计

4

某钻井船的型线优化设计案例

5

总结

1. 船体型线优化的常用方法

► 应用的软件

CAESES

CAESES是一款全参数化建模及仿真驱动的优化设计软件，是应用于设计前端的CAE（计算机辅助工程）集成系统。目前已广泛应用于世界各地的船厂和研究所、能源动力机械及航空发动机公司等。



SHIPFLOW

SHIPFLOW是一款船舶流体力学设计分析专用软件，它基于非线性自由面势流理论和雷诺平均N-S方程，能够完善地解决船舶阻力数值预报的问题。



STAR-CCM+

STARCCM+是CDadapco公司采用最先进的连续介质力学数值技术开发的新一代CFD求解器。



HEEDS

HEEDS是一款专业优化分析软件，可与诸多CAE软件连接，实现多目标多学科的优化，且默认的研发方式—SHERPA采用多重研发策略，具有自适应性及高效性，便于提高优化的速度。



1. 船体型线优化的常用方法

▶ 优化的过程

参数化建模

应用CAESES软件对目标船舶开展半/全参数化建模工作，为型线优化计算提供随参数变化的型线方案。

基于势流的兴波阻力优化

应用CAESES与SHIPFLOW软件建立基于势流计算的型线优化平台，通过Sobol 及NSGA- II等算法以兴波阻力最小目标对设计方案进行筛选。

基于粘流计算的船体型线优化

联合CAESES与STAR-CCM+等CFD软件，建立基于粘流的型线优化平台，直接以总阻力作为优化目标，再通过优化算法对设计方案进行筛选，以期获得性能更佳的型线。

水池试验

最终将通过水池试验进一步验证型线优化的效果。



1. 船体型线优化的常用方法

▶ 基于CAESES的参数化建模



半参数化建模

描述:

1>在原有线型的基础上以参数控制的方式实现船体的局部控制成型或变形;

2>变形工具: Cartesian Shift、Delta Shift、Surface Delta Shift、Free Form Deformation。

对比:

操作简单、控制参数较少,适用于局部优化,常用来优化艏部兴波和尾部伴流场等。



全参数化建模

描述:

1>整个船体以参数控制的方式通过曲线和曲面表达出来;

2>CAESES软件实现参数化建模的基本思想是首先自定义剖面的曲线特征和曲线生成器,然后由这些特征曲线和剖面生成器生成光滑的横剖线,最后由曲面对象生成器利用蒙面法生成光滑的曲面。

对比:

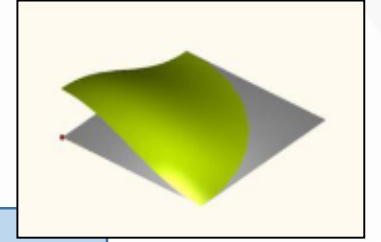
建模过程较复杂、控制参数多,但可对整个船体的曲面形状做修改,调整型线快捷,适用于船型开发。

1. 船体型线优化的常用方法

▶ 半参数化建模

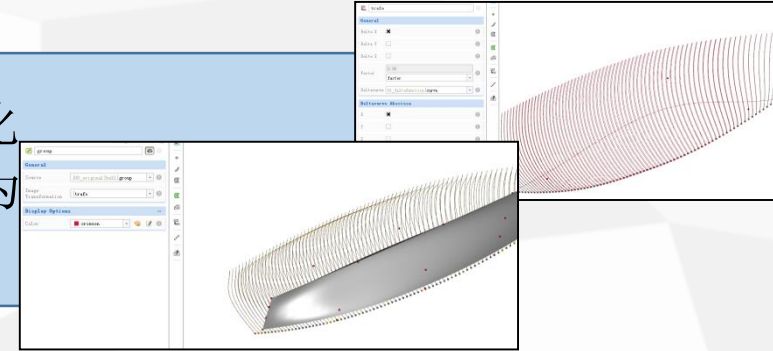
Cartesian Shift

在一个球体空间内，通过对 x,y,z 三向分别创建类似余弦的变形函数，此变形以源向量为中心，向四周光滑过渡，从而实现对一个既定平面的波浪式变形。



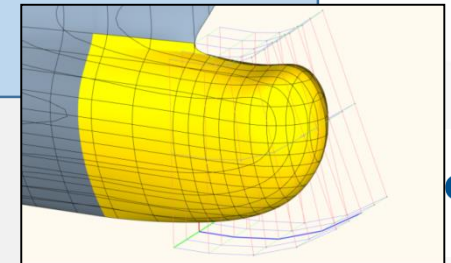
Delta Shift

分别以线(delta curve)和面(delta surface)作为变化的依据，与船体位置相对应的线和面的坐标值即为船体此处的变形量



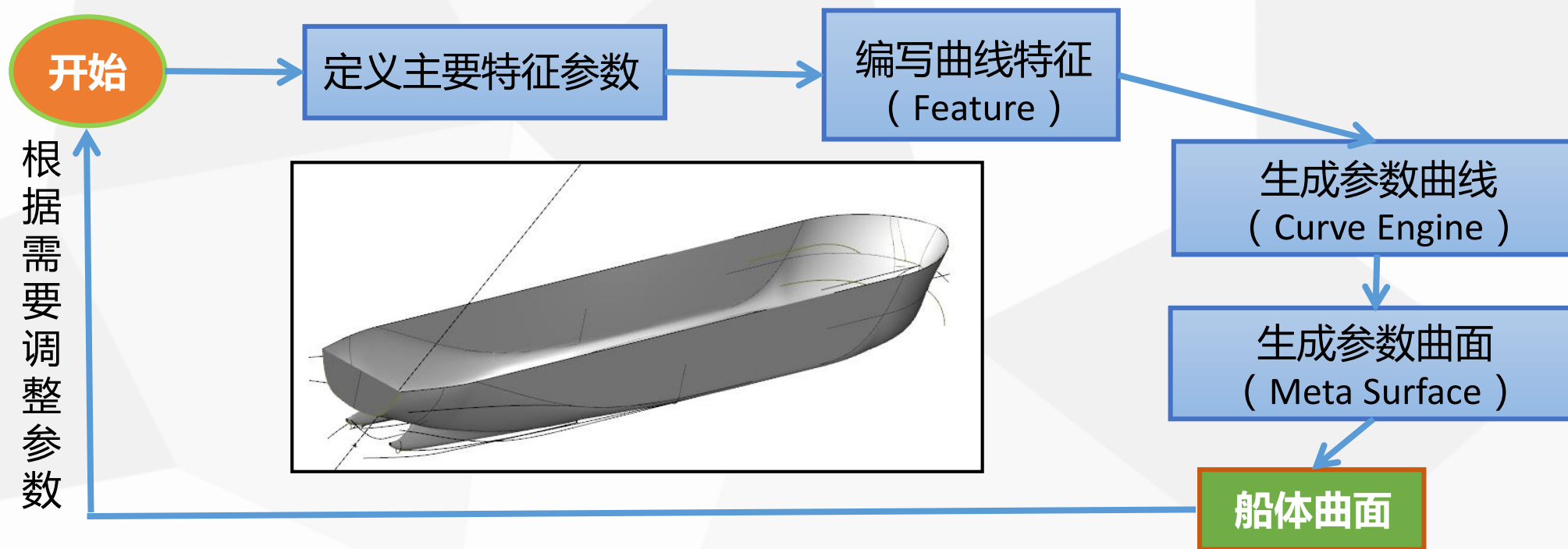
Free Form Deformation

根据变形区域确定一个被称为格子的长方体，并进行局部坐标变换将待变形物体(船体)线性地嵌入到格子中，然后通过调整格子上的控制点，让格子发生变形，并将变形趋势传递给船体曲面。



▶ 全参数化建模

参数化建模技术是指选择决定船舶航行性能的特征参数、特征线，并根据特征参数、特征线生成光顺的船体线型，FFS软件实现参数化建模的基本思想是首先构建控制主要几何特征的参数化曲线和相关特征曲线，如设计水线、平边线、甲板线、甲板外飘角曲线等，并定义剖面的曲线特征（Feature）和曲线生成器（Curve engine），然后由这些特征曲线和剖面生成器生成光顺的横剖线，最后由曲面对象生成器（Meta surface）利用蒙面法生成光顺的曲面。使用CAESES软件进行船体参数化建模的基本思路如下图所示。



1. 船体型线优化的常用方法

▶ 全参数化建模

(1) 生成平行中体

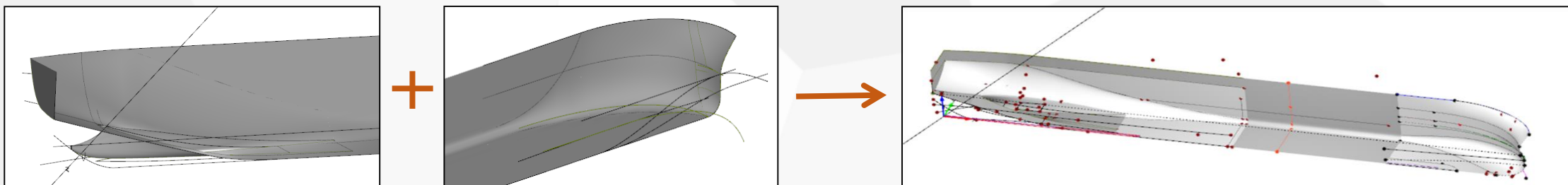
平行中体是船体中最易建模的部分，同时首尾部型线也借由平行中体部分而得以衔接。因此，第一步要做的就是对船体的平行中体部分进行建模。平行中体部分生成比较简单，通过对剖面线的拉伸得到。

(2) 生成船体艉部

建立尾部的相关特征线后，即可包络出艉部曲面，不同形式的艉部建模方式略有不同。

(3) 生成艏部曲面

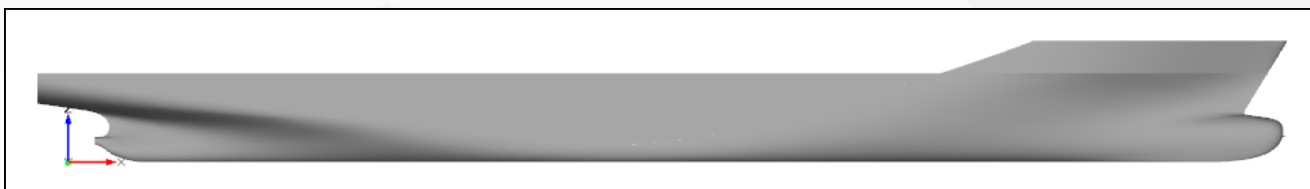
船体艏部通常采用分段生成的方法进行曲面生成。



2. 基于CAESES & SHIPFLOW的球鼻艏优化

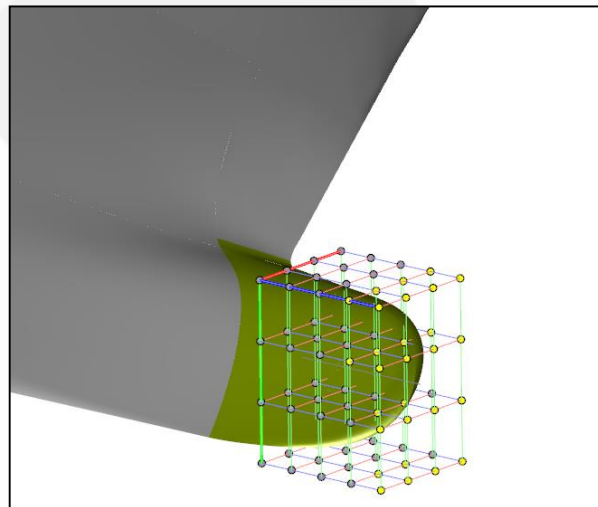
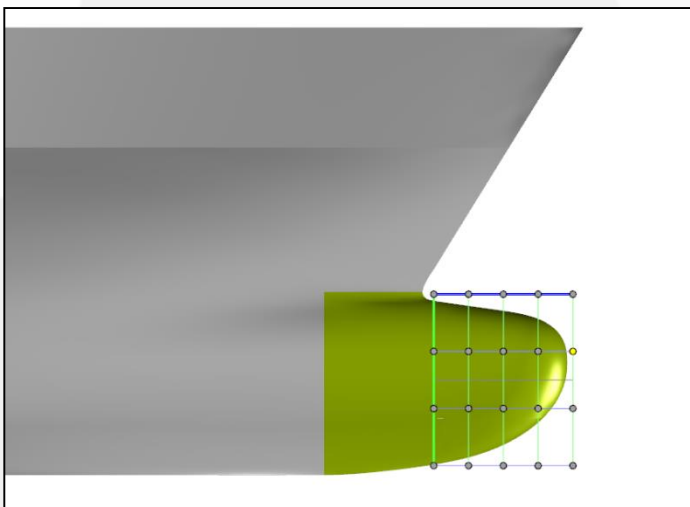
▶ 待优化船型

以标准船模KCS为例，对球鼻艏进行局部优化



主要参数	实尺度数值	模型数值
垂线间长Lpp	230m	7.2786
船宽B	32.2m	1.019m
吃水T	10.8m	0.3418m
型深D	19m	0.6013m
傅汝德数Fn	0.26	0.26

▶ 半参数化建模--Free Form Deformation

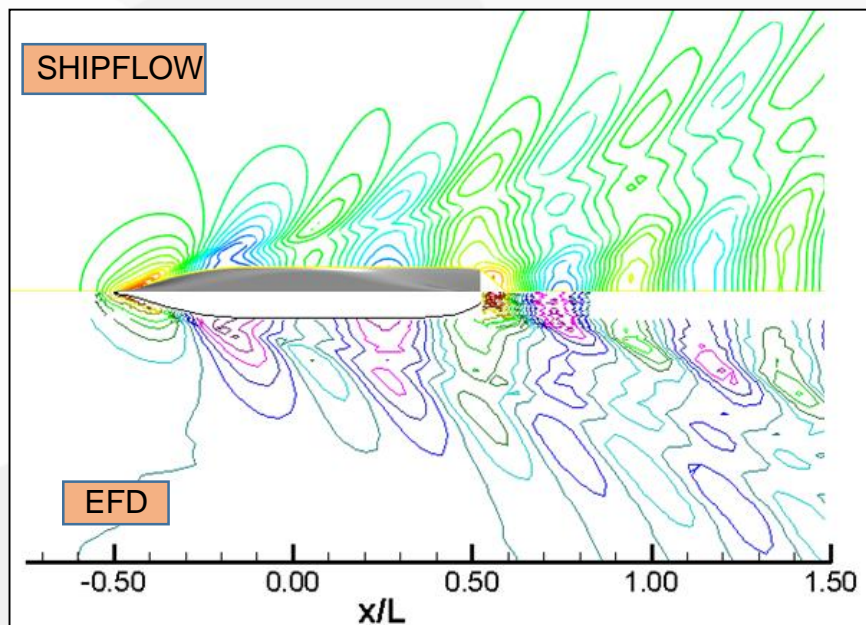


应用Free Form Deformation功能，将球艏方案一个矩形box内，box沿x、y、z分成3-4份，通过改变各交点坐标，实现box的空间形变，并将box的变形与球鼻艏的曲面进行关联。

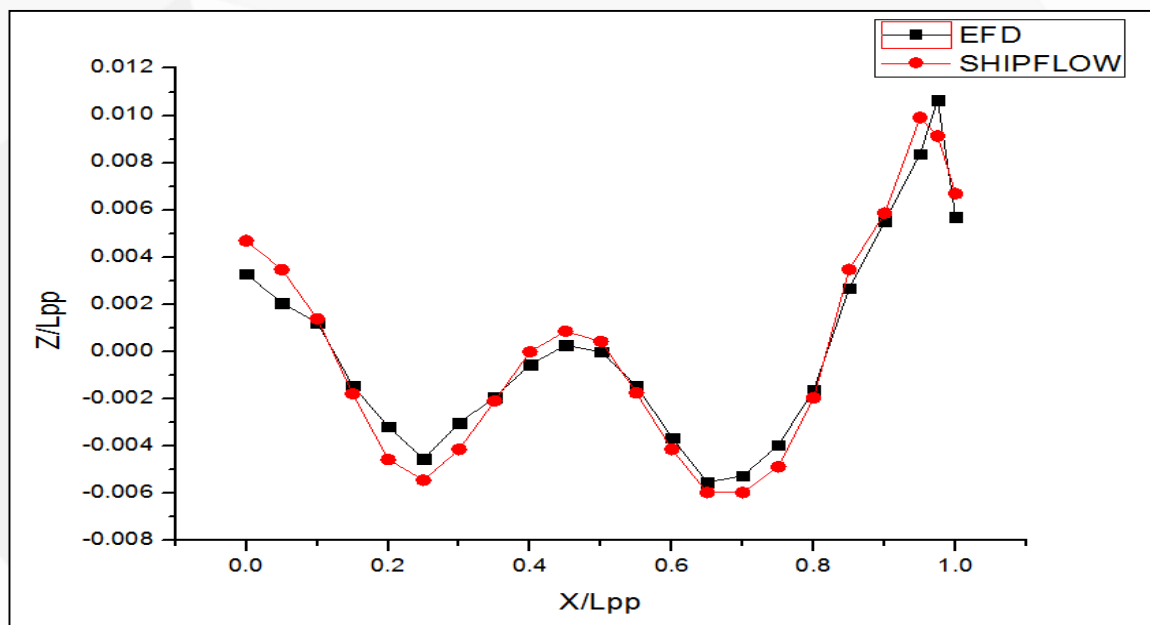
2. 基于CAESES & SHIPFLOW的球鼻艏优化

▶ SHIPFLOW计算KCS的船体兴波

通过将SHIPFLOW计算的自由表面兴波分布图与公开的试验值做对比，发现计算结果与试验值吻合较好。



KCS自由表面兴波对比图

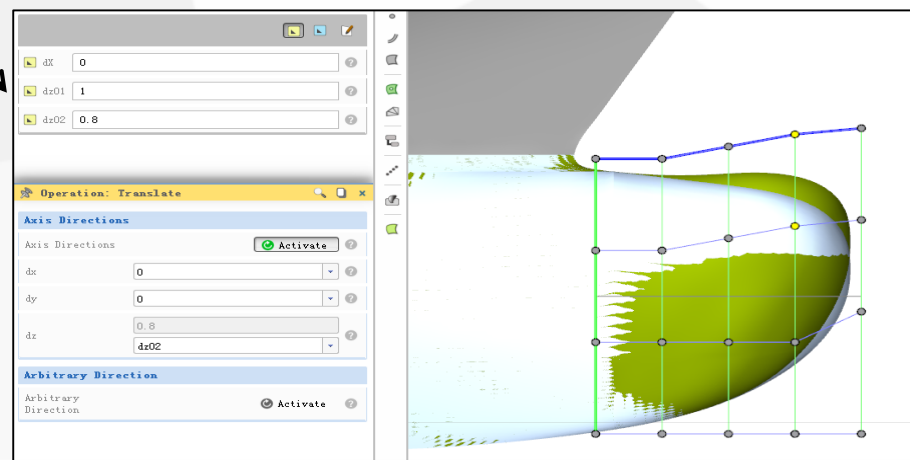
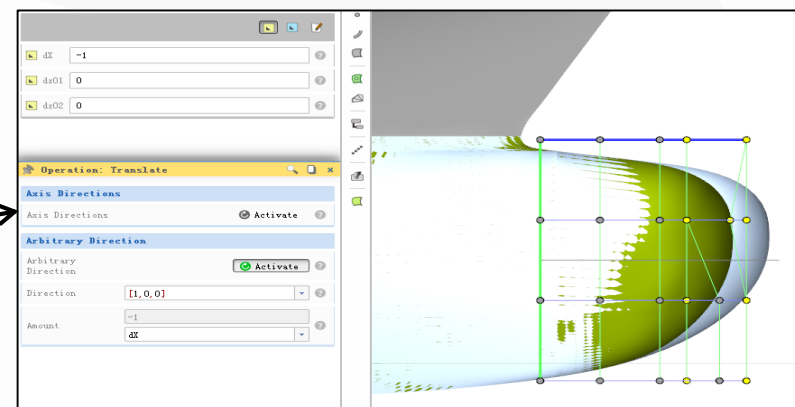
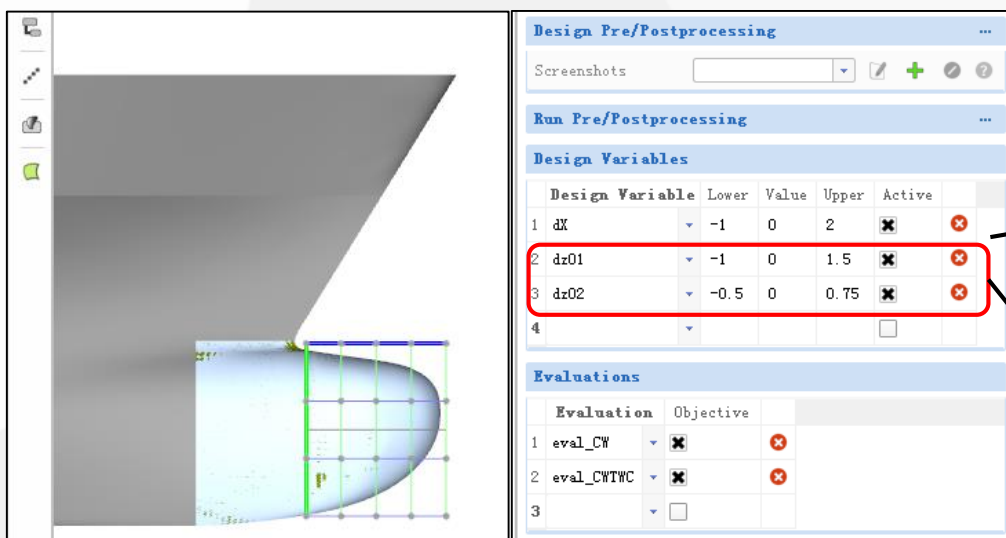
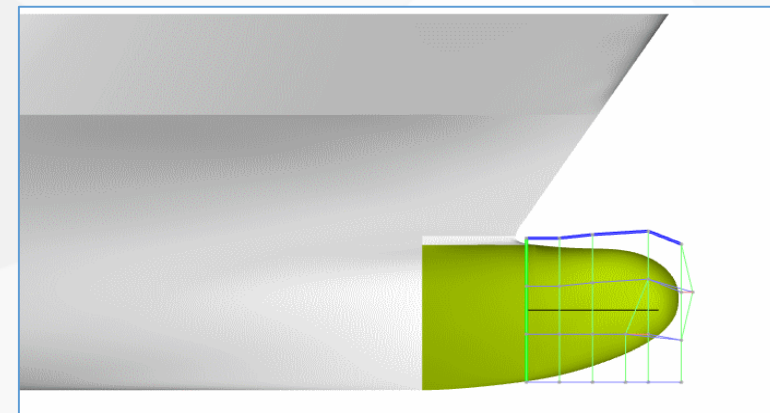


KCS船体表面兴波对比图

2. 基于CAESES & SHIPFLOW的球鼻艏优化

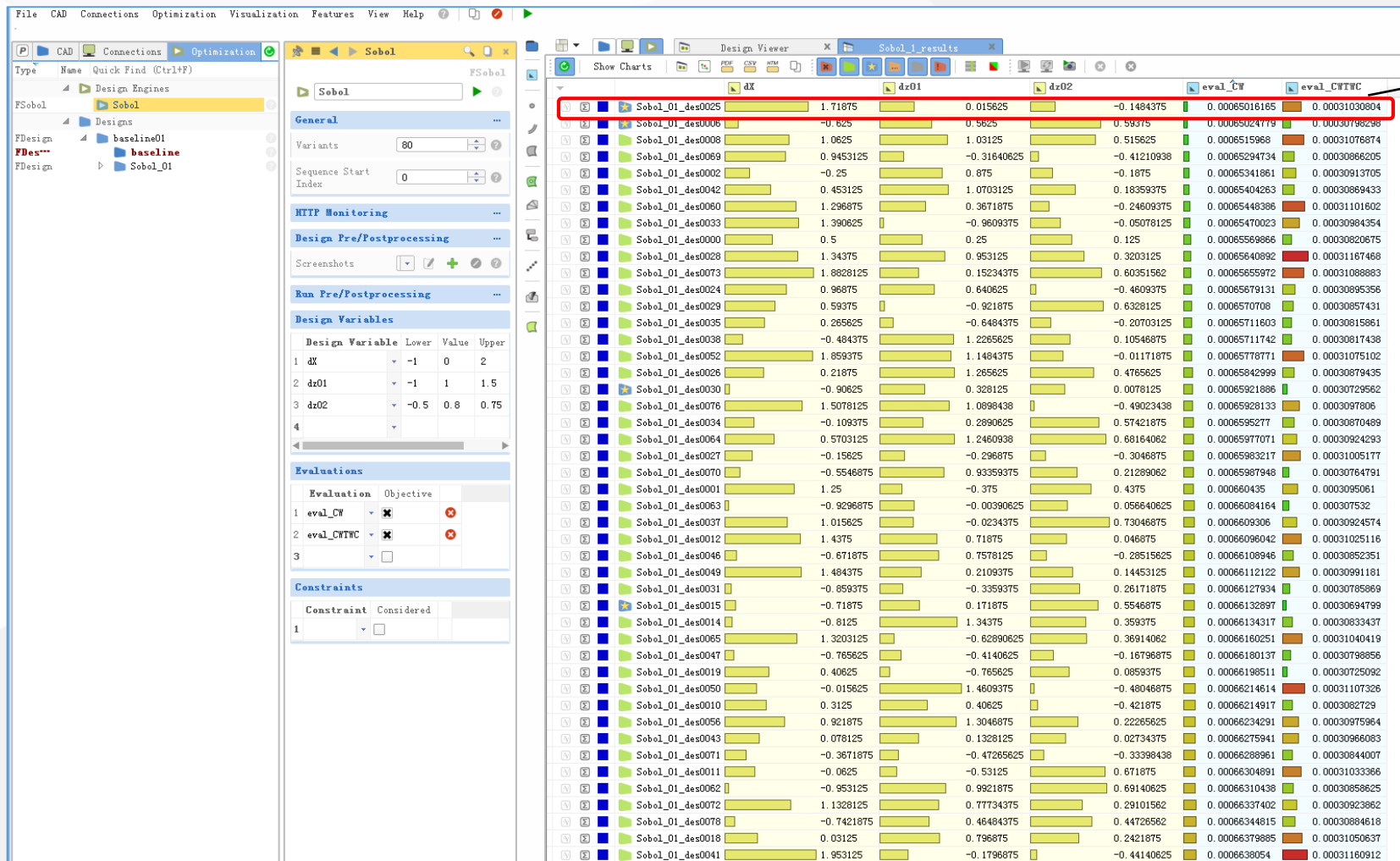
▶ 基于势流计算的球艏优化

采用Free Form Deformation 功能对球鼻艏进行半参数化建模，通过dx、dz01和dz02三个参数对球鼻艏的长度和高度进行变形的控制。

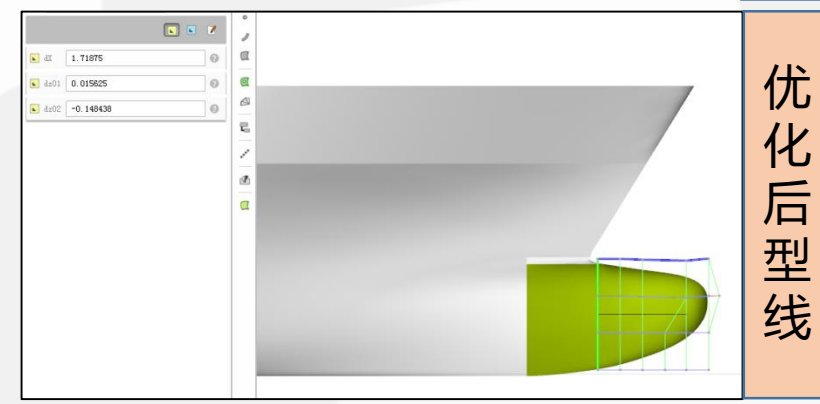
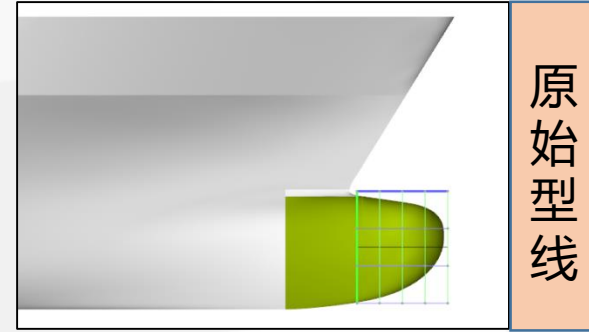


2. 基于CAESES & SHIPFLOW的球鼻艏优化

▶ 采用Sobol算法进行搜索

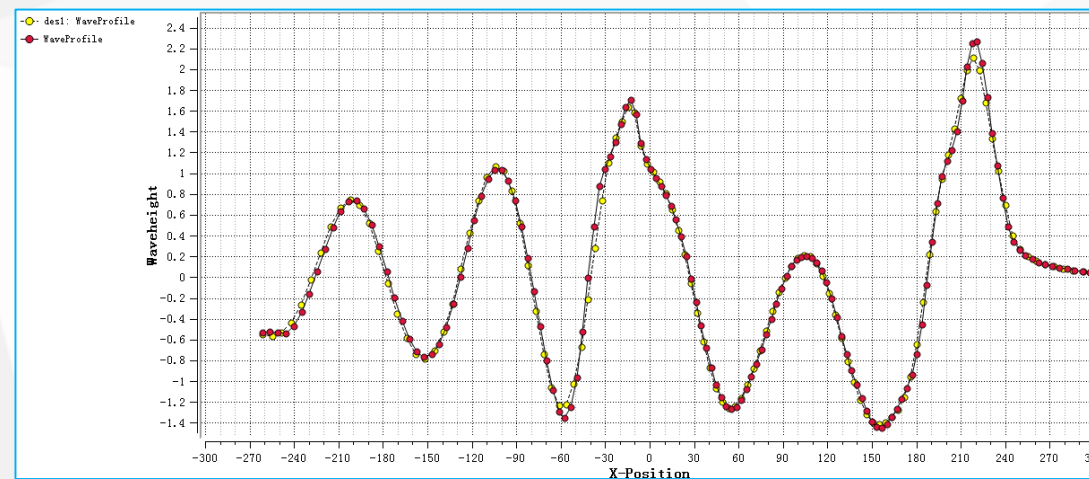
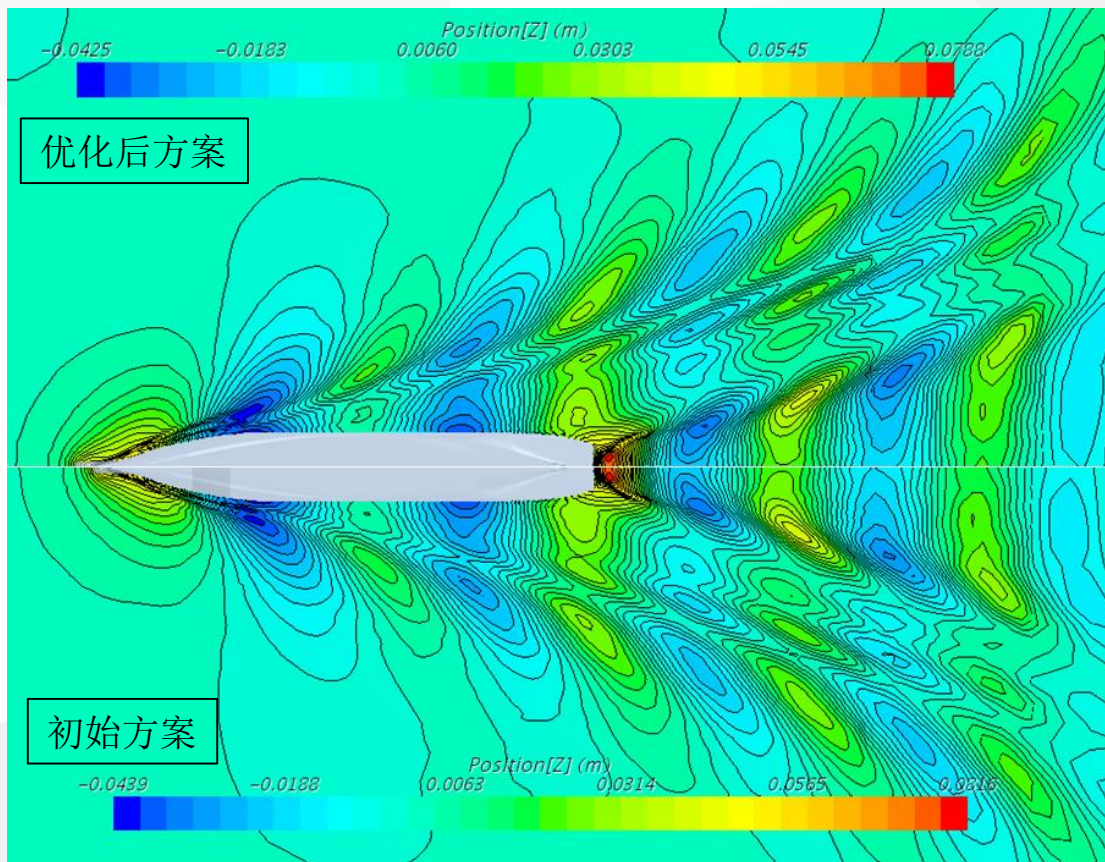


Sobol搜索80次，des25为最佳方案



2. 基于CAESES & SHIPFLOW的球鼻艏优化

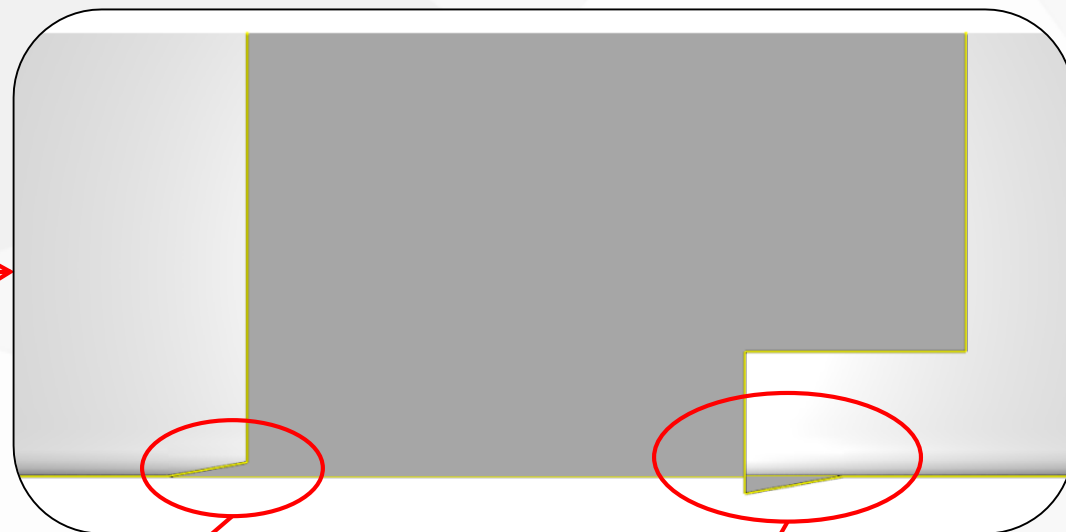
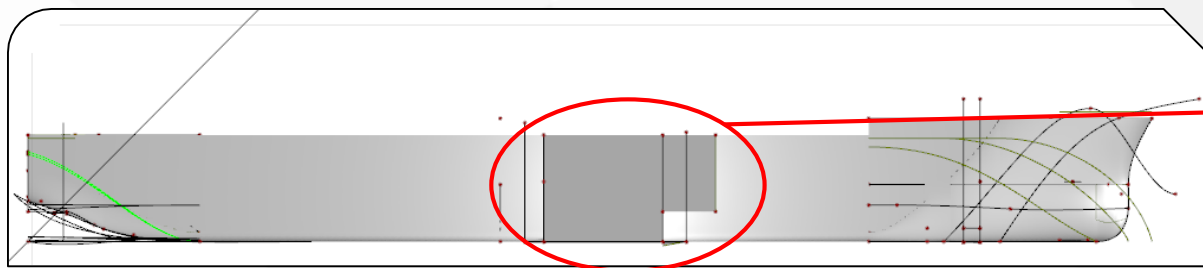
▶ 优化前后对比



型线方案	对应的实船工况	摩擦阻力	压阻力	总阻力	总阻力变化量
初始方案	T=10.8m, Vs=24kn	66.98N	14.52N	81.5N	--
优化方案des25	T=10.8m, Vs=24kn	67.04N	14.05N	81.09N	-0.5%

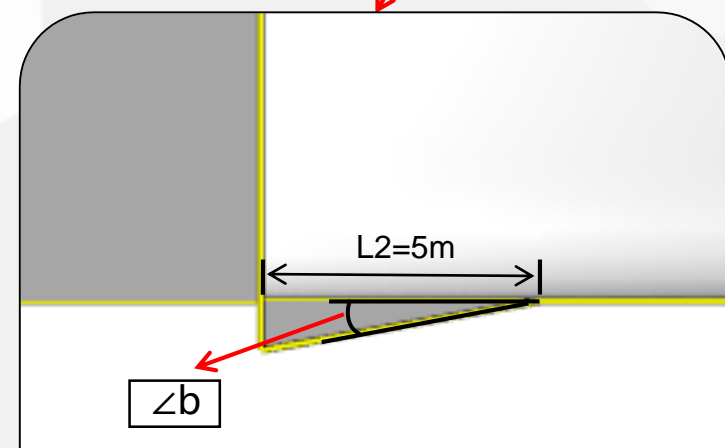
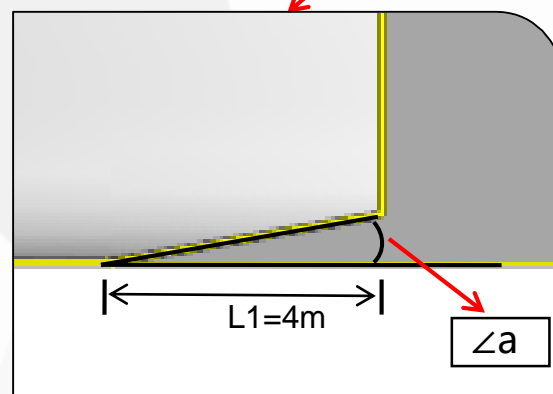
3. 基于CAESES & STAR-CCM+的月池方案设计

▶ 基于CAESES的月池参数化建模



船型及月池主尺度

参数	数值
垂线间长 L_{pp}	<260m
型深D	约20m~30m
月池长	约20m~40m
月池宽	约10m~15m



设计变量: a: 5° ~ 20°
b: 5° ~ 20°

3. 基于CAESES & STAR-CCM+的月池方案设计

▶ CAESES与STAR-CCM+连接

The screenshot displays the CAESES software interface, which is used for connecting to STAR-CCM+ for simulation. The interface is divided into several panels:

- Left Panel (Tree View):** Shows a hierarchical structure of configurations and computations. Under 'Configurations', there are 'config', 'config01', and 'config02'. Under 'Computations & Results', there is a 'Runner' and 'comp_01'.
- Runner01 Panel (Execution Settings):** Shows the configuration for the 'Runner01' computation. It includes 'Execution Settings' (Configuration: config02), 'Arguments', 'Resource Manager setup' (localSetup), 'Constraints', 'Asynchronous Update' (checked), 'Remove existing Result Files' (unchecked), and 'Local Execution Settings' (Local Application: LocalApplic, Output files: *).
- Overview Panel (Input Files):** Displays the input files for the simulation, including 'ship', 'ship_scale.java', 'STEPBYSTEP.java', 'ship_mesh01.java', 'ship_physics.java', and 'ship_post01.java'. A central 'Runner01' icon is connected to the 'Result Files' and 'Result Values' panels.
- Result Files Panel:** Shows the output files, including 'drag.csv'.
- Terminal Panel (Bottom):** Displays the execution log, showing the status of the simulation and the completion of the 'drag.csv' file.

```
*** INFO Runner01 : Results are pending
*** INFO Runner01 : finished results [design: Sobol_03_des0000]
*** INFO Runner01 : finished results [design: Sobol_03_des0001]
*** INFO Runner01 : finished results [design: Sobol_03_des0002]
*** INFO Runner01 : finished results [design: Sobol_03_des0003]
*** INFO Runner01 : finished results [design: Sobol_03_des0004]
*** INFO Runner01 : finished results [design: Sobol_03_des0005]
*** INFO Runner01 : finished results [design: Sobol_03_des0006]
*** INFO Runner01 : finished results [design: Sobol_03_des0007]
*** INFO Runner01 : finished results [design: Sobol_03_des0008]
*** INFO Runner01 : finished results [design: Sobol_03_des0009]
*** INFO Runner01 : finished results [design: Sobol_03_des0010]
*** INFO Runner01 : finished results [design: Sobol_03_des0011]
*** INFO #6 : analyzing offsets ...
*** INFO #6 : creating curves, please be patient ...
*** INFO #6 : normalizing sectional area curve ...
*** INFO #6 : analyzing offsets finished
```

3. 基于CAESES & STAR-CCM+的月池方案设计

▶ CAESES与STARCCM+连接

The screenshot displays the CAESES software interface with the following components:

- Left Panel (Designs):** A tree view showing a hierarchy of designs. Under 'Designs', there is a folder 'des49_0516' containing sub-folders 'Sobol_01', 'Sobol_02', and 'Sobol_03'. 'Sobol_03' contains a list of design instances from 'Sobol_03_des0000' to 'Sobol_03_des0011'.
- Bottom-Left Panel (Log):** A text area showing the execution log for the 'Runner' task. It includes messages such as 'Writing command files...', 'Finished preparation - running external process...', 'STAR-CCM+ STL Export : processing [exporting 1 object(s)]', and 'running external process [D:/ship01/ccm_run.bat in design Sobol_03_des0009]'. The log indicates that results are pending for several instances.
- Right Panel (TaskMonitor):** A table showing the status of tasks. The 'Runner' task is highlighted, showing it is running on a local host. Below the table, a detailed log for the 'Runner' task is displayed, including statistics for edges, faces, and cells, and a list of mesh improvement operations like 'collapsing interior sliver faces' and 'merging small boundary cells'.

```
*** INFO Runner : Writing command files ... [design: Sobol_03_des0009]
*** INFO Runner : Finished preparation - running external process ... [design: Sobol_03_des0009]
*** INFO STAR-CCM+ STL Export : processing [exporting 1 object(s)]
*** INFO Runner : running external process [D:/ship01/ccm_run.bat in design Sobol_03_des0009]
*** INFO Runner : Results are pending
*** INFO Runner : Preparing process ... [design: Sobol_03_des0010]
*** INFO Runner : Writing command files ... [design: Sobol_03_des0010]
*** INFO Runner : Finished preparation - running external process ... [design: Sobol_03_des0010]
*** INFO STAR-CCM+ STL Export : processing [exporting 1 object(s)]
*** INFO Runner : running external process [D:/ship01/ccm_run.bat in design Sobol_03_des0010]
*** INFO Runner : Results are pending
*** INFO Runner : Preparing process ... [design: Sobol_03_des0011]
*** INFO Runner : Writing command files ... [design: Sobol_03_des0011]
*** INFO Runner : Finished preparation - running external process ... [design: Sobol_03_des0011]
*** INFO STAR-CCM+ STL Export : processing [exporting 1 object(s)]
*** INFO Runner : running external process [D:/ship01/ccm_run.bat in design Sobol_03_des0011]
*** INFO Runner : Results are pending
```

Name	Host / State	Started	Finished
drill107_des49_moonpool			
Sobol_01_des0002			
Sobol_02_des0002			
Sobol_03_des0000			
Runner	local	2017/...	
ccm_run.bat	running		

```
new edge count = 4287294
new vertex count = 1496238
Interacting edges
done, CPU Time: 1.81, Wall Time: 1.81, Memory: 647.01 MB
Interacting faces
done, CPU Time: 13.31, Wall Time: 13.31, Memory: 656.15 MB
Interacting cells
deleting outside cells, faces, edges, and vertices and compressing
new cell count = 1260429
new face count = 3975165
new edge count = 4712821
new vertex count = 1998085
done, CPU Time: 7.35, Wall Time: 7.35, Memory: 646.50 MB
Marking special edges/vertices in volume mesh
done, CPU Time: 0.06, Wall Time: 0.06, Memory: 647.23 MB
Improving mesh quality
preprocessing
collapsing interior sliver faces
merging small boundary cells
merging boundary faces
merging interior faces
merging surface edges
splitting multiply-shared faces
fixing degenerate cells
merging boundary faces
merging surface edges
Splitting concave boundary faces
Collapsing Small Edges/Faces: ratio < 0.075
39050 edges were collapsed in total
8 cells were removed
Marking concave cells
Executing Splitter..., Memory: 606.44 MB
done, (Executing Splitter...), CPU Time: 1.51, Wall Time: 1.51, Memory: 608.20 MB
Collapsing Small Internal Edges/Faces: ratio < 0.1
586 edges were collapsed in total
15 cells were removed
Splitting concave boundary faces
Collapsing Small Edges/Faces: ratio < 0.1
203 edges were collapsed in total
4 cells were removed
splitting multiply-shared faces
Marking concave cells
Collapsing Small Edges/Faces: ratio < 0.1
```



3. 基于CAESES & STAR-CCM+的月池方案设计

▶ 月池设计方案筛选



不同月池方案的对比

	a	b	eval_drag
✓ Sobol_03_des0008	19.0625	5.9375	-11.848762
✓ Sobol_03_des0004	14.375	6.875	-12.021753
✓ Sobol_03_des0000	16.25	8.75	-12.178507
✓ Sobol_03_des0006	7.8125	9.6875	-12.569606
✓ Sobol_03_des0002	10.625	10.625	-12.810422
✓ Sobol_03_des0009	11.5625	13.4375	-12.959324
✓ Sobol_03_des0003	17.1875	15.3125	-13.05704
✓ Sobol_03_des0007	15.3125	17.1875	-13.39869
✓ Sobol_03_des0001	8.75	16.25	-13.417664
✓ Sobol_03_des0005	6.875	14.375	-13.428188

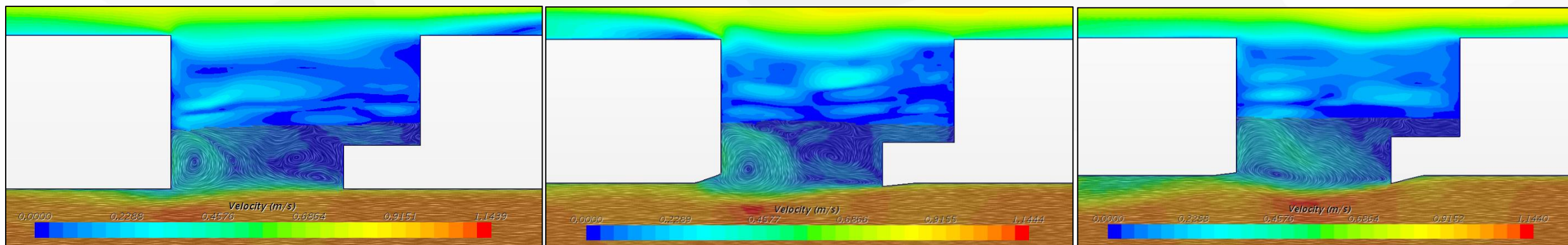
各设计方案计算结果对比

b变量与阻力关系更密切，将作为主变量重点优化，由于a变量与阻力的关联趋势不明显，后续优化将重新考虑改变开剖口的形式、做更深入的分析。

备注：工况为设计吃水、设计航速，总阻力为模型尺度、半船。

3. 基于CAESES & STAR-CCM+的月池方案设计

▶ 月池内流体运动对比



(a) Baseline

(b) Des0008

(c) Des0005

月池内速度矢量分布图 (Vector line integral Convolution)

各设计方案比较，Des008阻力最小，较原始模型减阻1.91%，Des005阻力最大，较原始模型阻力增加11.1%

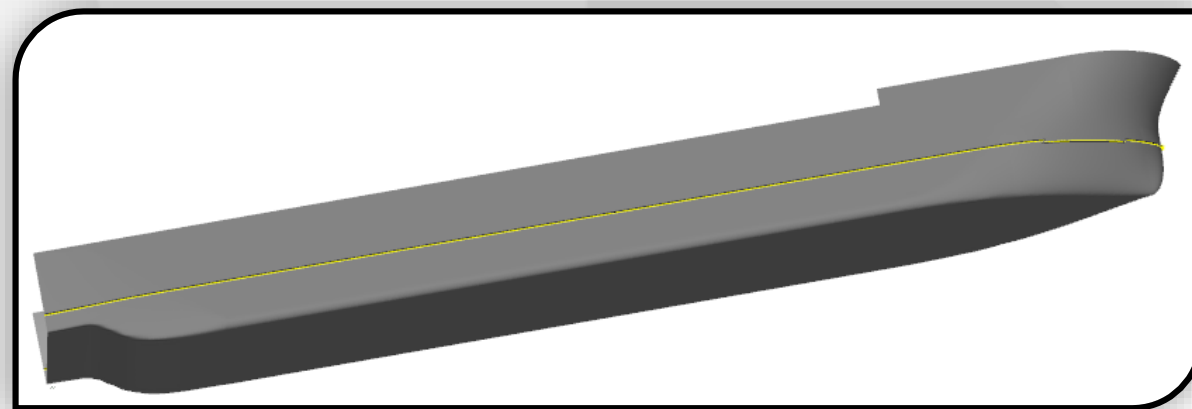
4. 某钻井船的型线优化案例-型线优化

▶ 初始型线方案

在确定了船长、船宽等主要船型参数后，参考同类型船舶首先设计了初版的船体型线。

初始型线方案主尺度信息

参数	数值
垂线间长Lpp	(<260m)
总长Loa	(<260m)
型深D	20m~30m



初始型线方案三维模型

4. 某钻井船的型线优化案例-型线优化

▶ 不同船艉方案对比

不同艉部方案对比



计算：
 尺寸计算，靠近船体表面的；
 $Y^+ \approx 100$ 划分，网格总数约
 ESST K- ω ；
 性，计算时按照半船来计算。

型线方案	工况	摩擦阻力	压阻力	总阻力	总阻力变化量
优化方案A0	满载	17.73N	7.65N	25.38N	--
优化方案A1	满载	17.87N	6.55N	24.42N	-3.78%
优化方案A2	满载	17.76N	4.72N	22.48N	-11.42%

备注：吃水为前期预估吃水，比实际满载吃水小0.3m，总阻力为模型尺度、全船。



4. 某钻井船的型线优化案例-型线优化

4.1 基于势流计算的兴波阻力优化

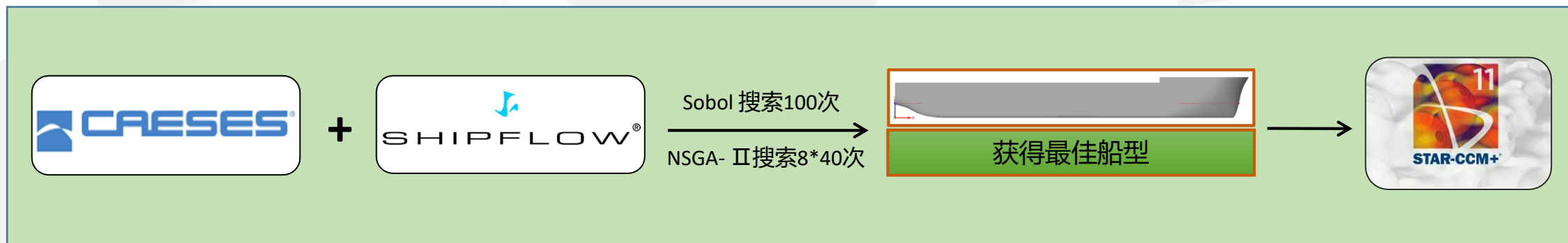
► 考虑的吃水工况：

满载和移航工况：

工况	目标航速	优化占比
满载	设计航速	50%
移航	设计航速+1kn	50%

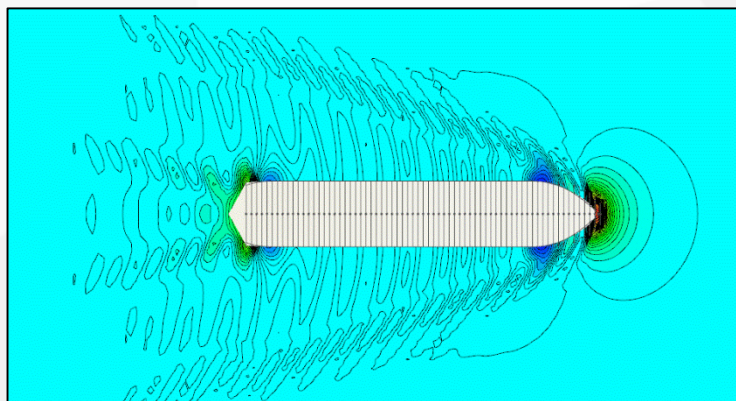
► 优化过程：

- 1) 采用CAESES与SHIPFLOW组成的优化设计平台，通过Sobol 及NSGA- II算法对最小兴波阻力进行搜索；
- 2) 通过STAR-CCM+软件对总阻力进行计算，验证优化结果。

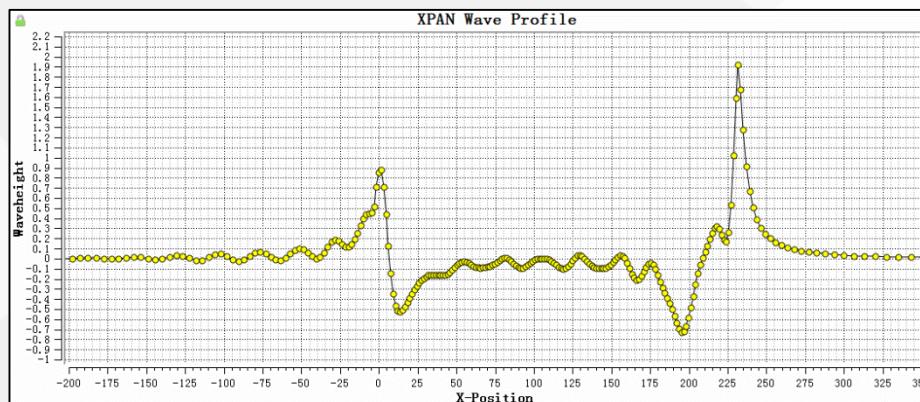


4. 某钻井船的型线优化案例

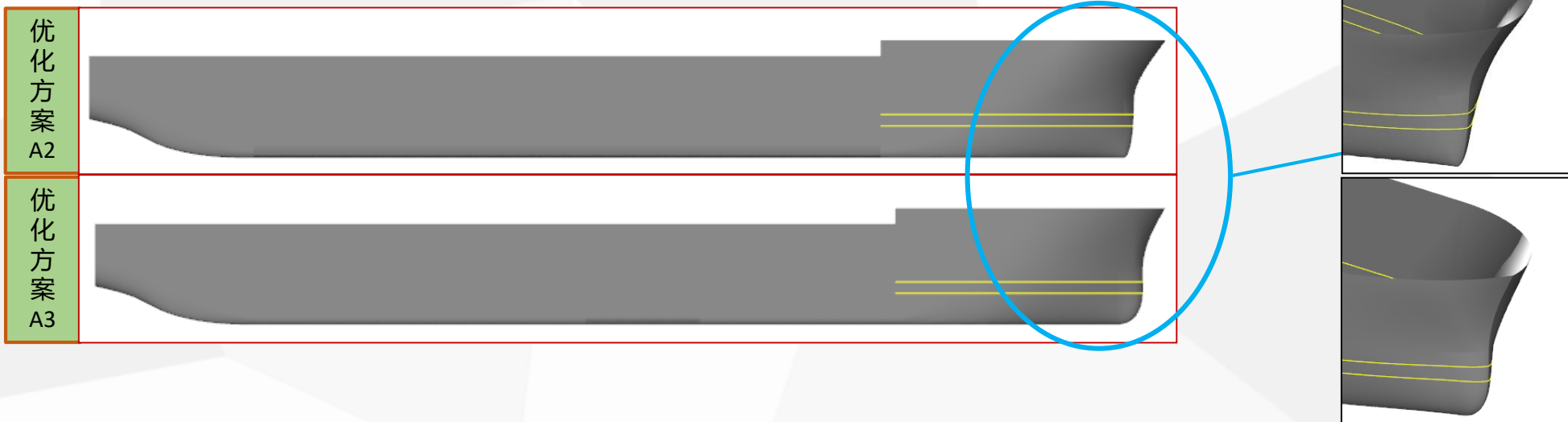
4.1 基于势流计算的兴波阻力优化



不同设计方案的自由液面波形图



不同设计方案的波高图



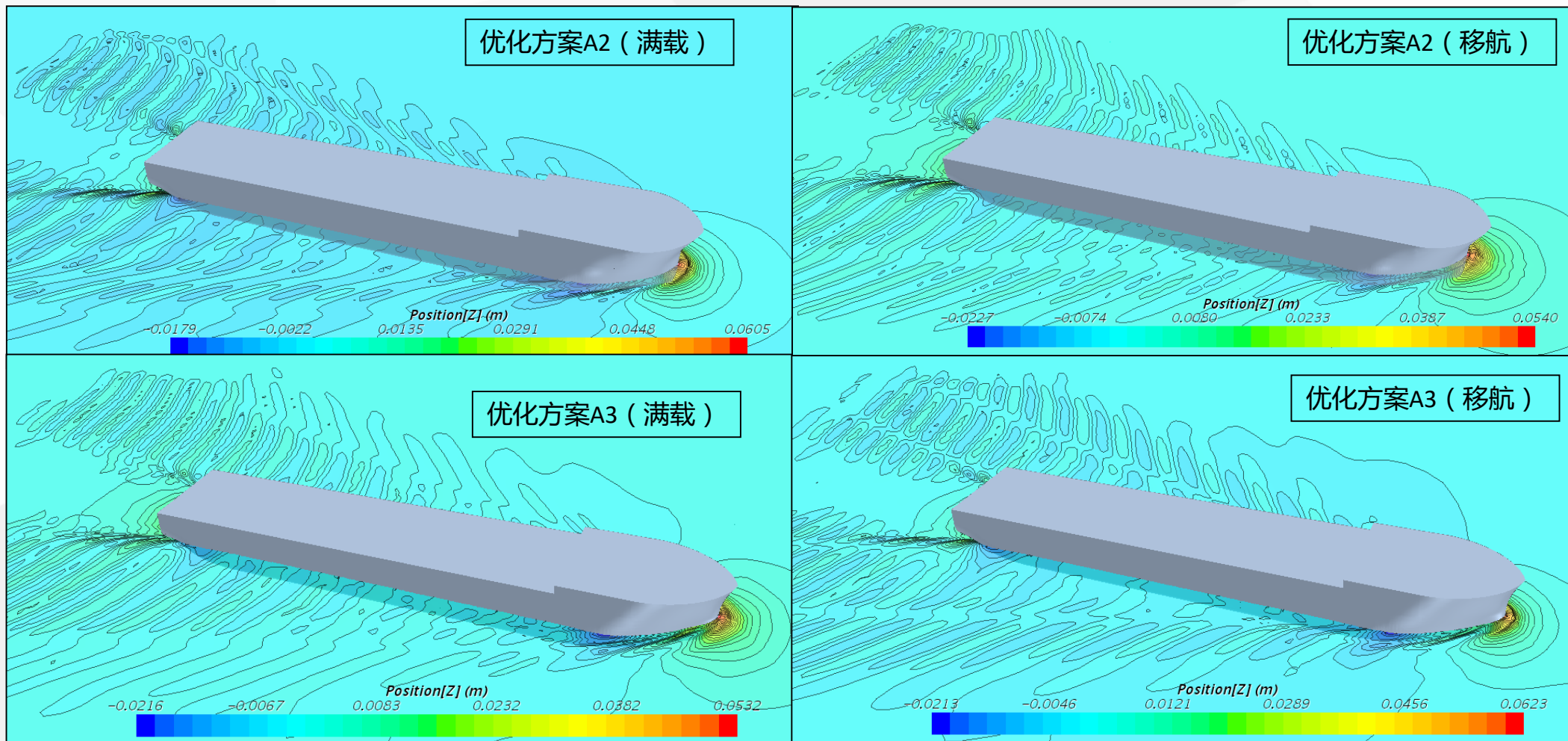
优化方案 A2

优化方案 A3

总阻力平均降低 1.22%

4. 某钻井船的型线优化案例

4.1 基于势流计算的兴波阻力优化



4. 某钻井船的型线优化案例

4.1 基于势流计算的兴波阻力优化

▶ 优化前后阻力对比

型线方案	工况	摩擦阻力	压阻力	总阻力	总阻力变化量
优化方案A2	满载	17.91N	4.80N	22.71N	--
优化方案A2	移航	18.62N	4.88N	23.50N	--
优化方案A3	满载	17.99N	4.56N	22.55N	-0.70%
优化方案A3	移航	18.68N	4.41N	23.09N	-1.74%

▶ 优化前后阻力各项参数对比

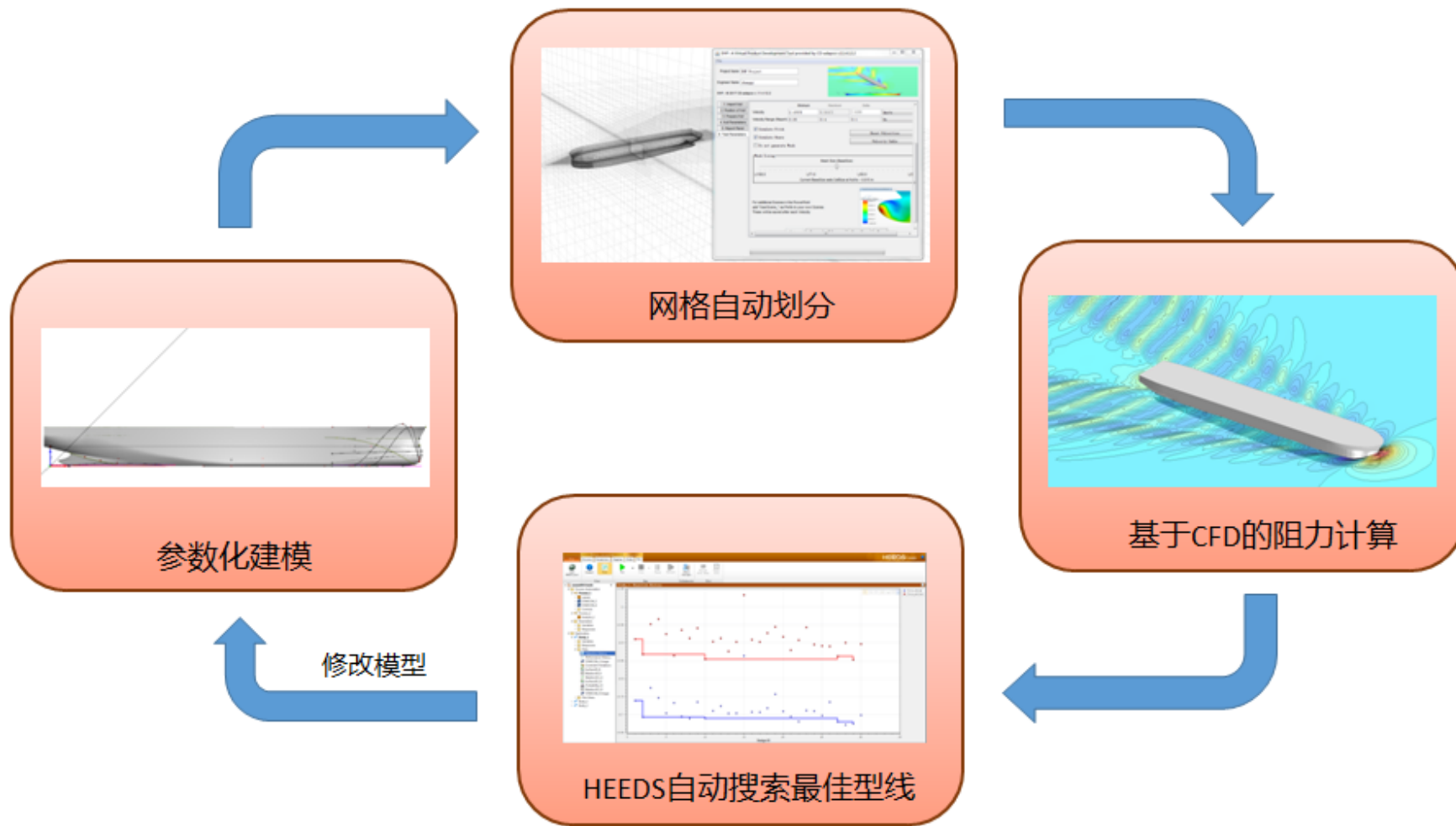
约束参数	优化方案A2	优化方案A3
垂线间长Lpp	--	+2m
总长Loa	--	不变
满载排水量	+0.12%	+0.18%

4. 某钻井船的型线优化案例

4.2 基于粘流计算的船体型线优化

▶ HEEDS型线优化平台

通过HEEDS软件将CAESES与STAR-CCM+搭载到一起，实现基于CFD粘流计算的自动优化。

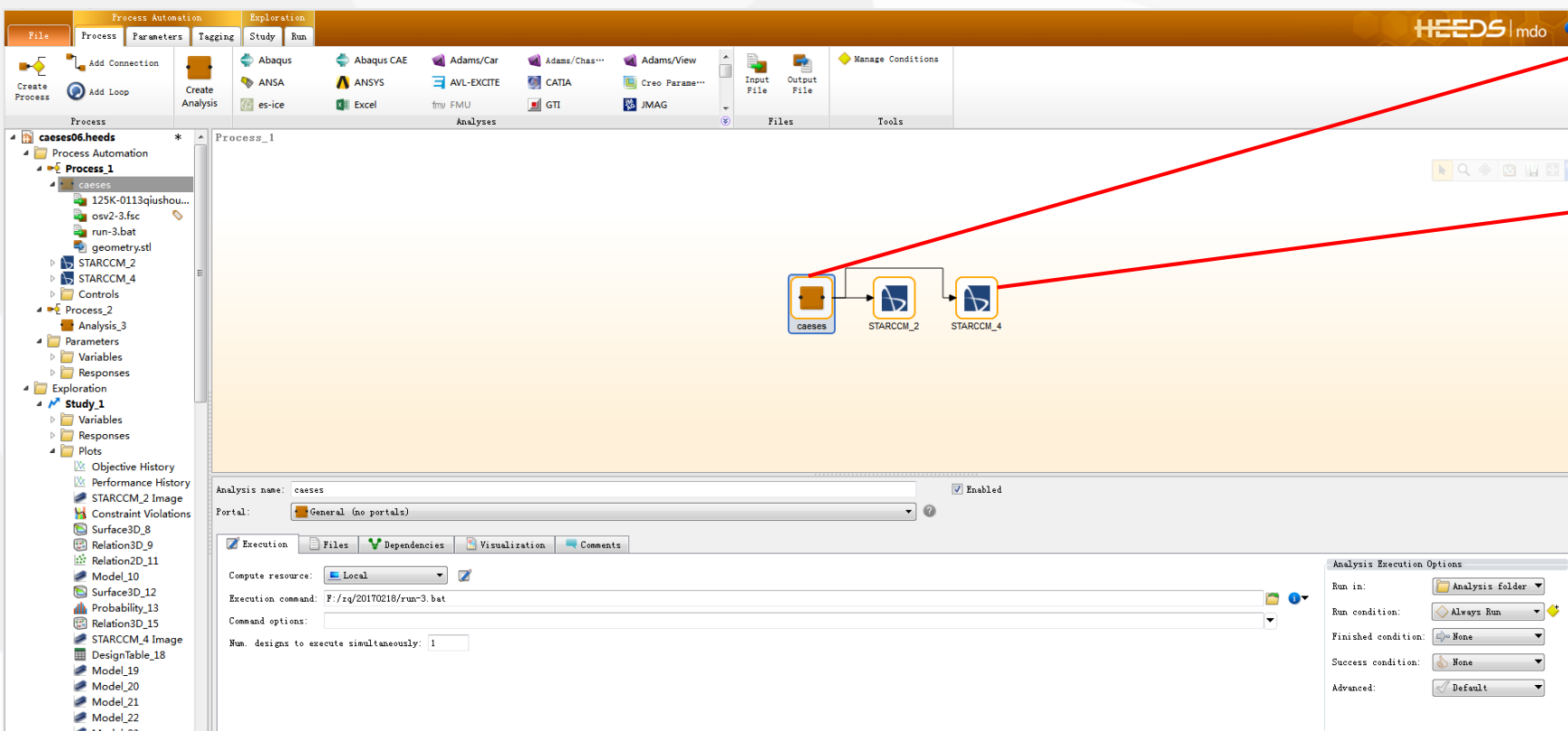


4. 某钻井船的型线优化案例

4.2 基于粘流计算的船体型线优化

▶ HEEDS型线优化平台

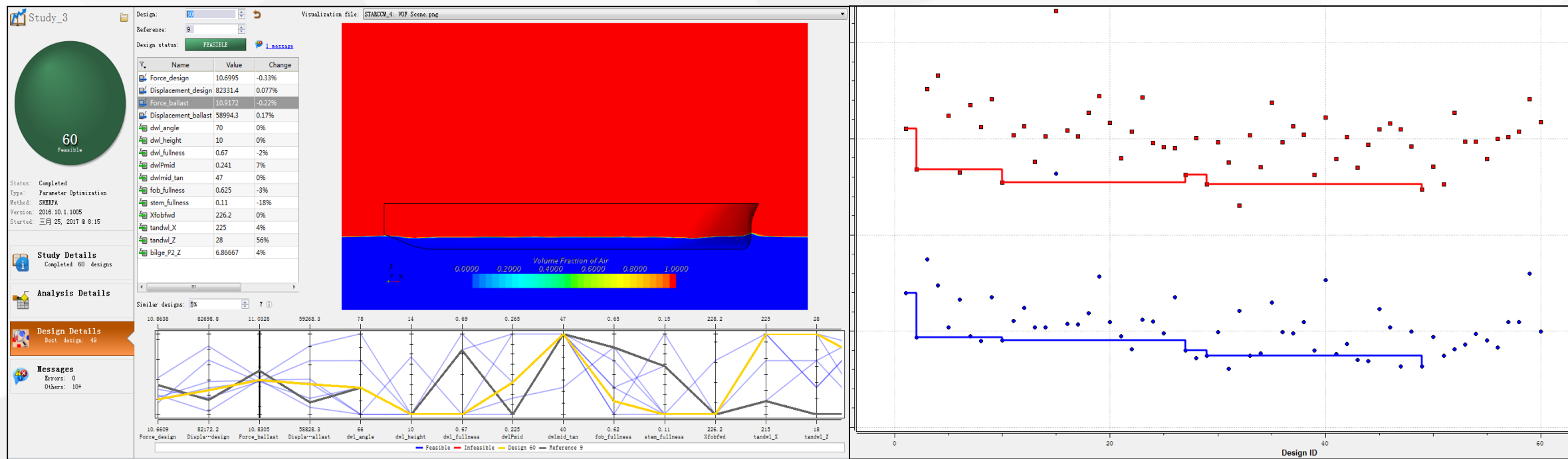
- 1) 应用HEEDS软件，联合CAESES与STAR-CCM+软件，建立基于粘流的型线优化平台；
- 2) 直接以总阻力作为优化目标；
- 3) SHERPA算法：具备自适应、高效率及良好的鲁棒性，使设计师可以跨越直觉甚至专业经验的限制进行优化设计。



4. 某钻井船的型线优化案例-型线优化

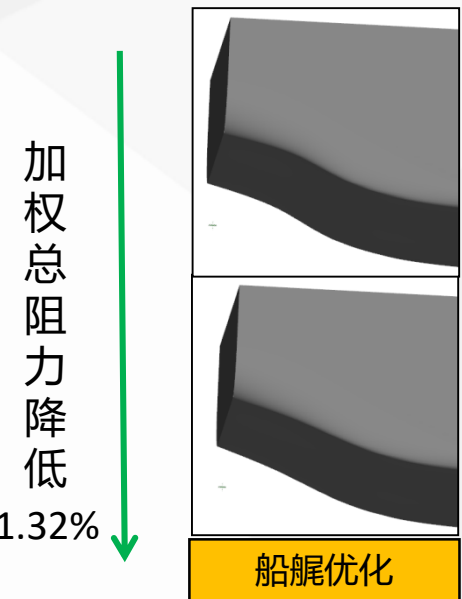
4.2 基于粘流计算的船体型线优化

▶ 优化历程图

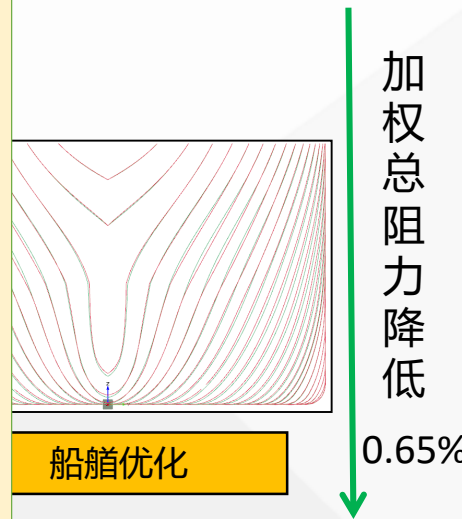
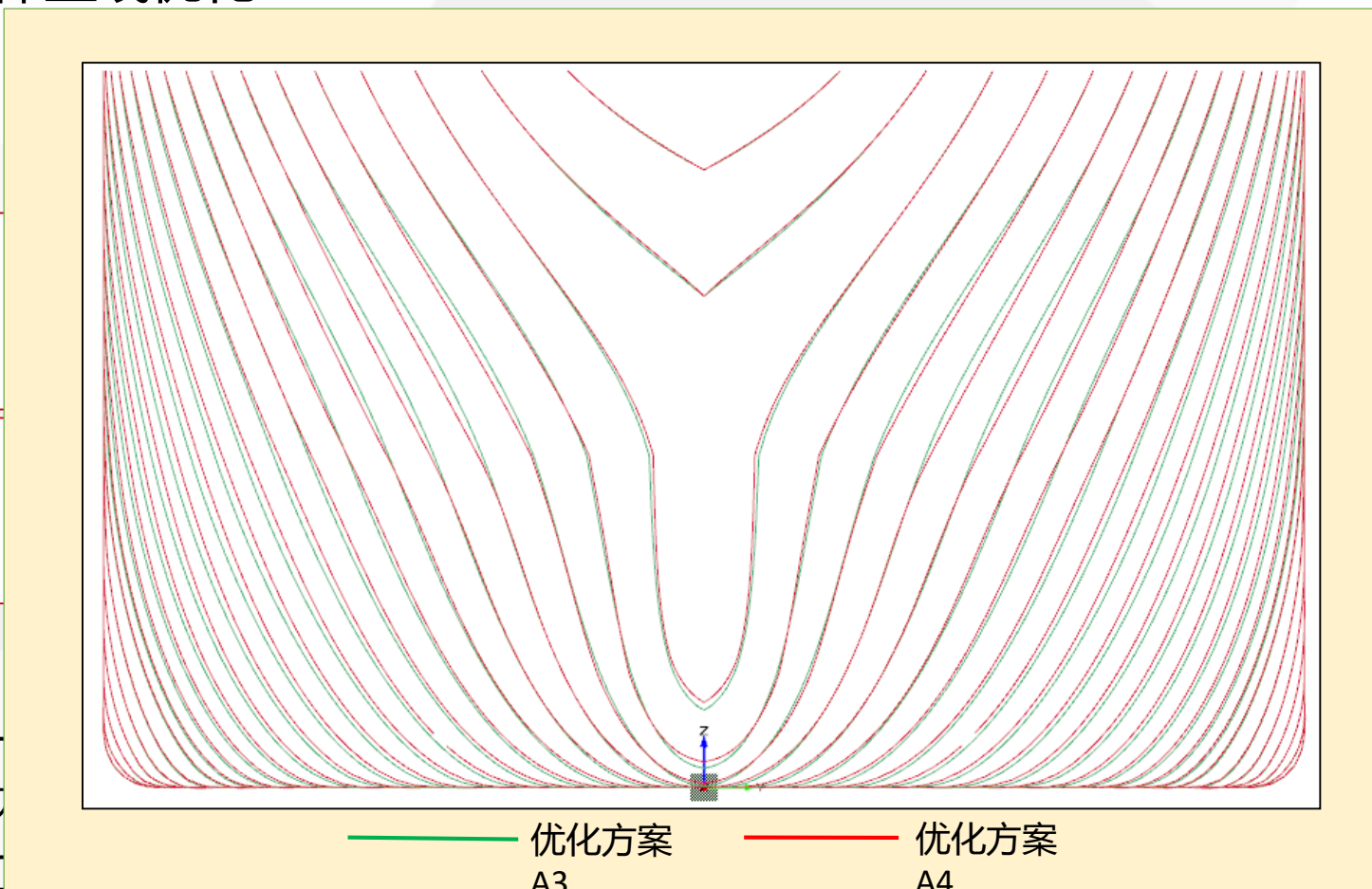


4. 某钻井船的型线优化案例-型线优化

4.2 基于粘流计算的船体型线优化



初始方案 A3
优化方案 A4



► 总阻力计算结果

型线	工况	优化方案 A3	优化方案 A4	优化方案 A3	优化方案 A4	变化率
优化方案 A3	满载	17.99N	4.56N	22.55N	--	
优化方案 A3	移航	18.68N	4.41N	23.09N	--	
优化方案 A4	满载	17.98N	4.19N	22.17N	-1.69%	
优化方案 A4	移航	18.62N	3.95N	22.57N	-2.25%	



5. 总结

(1) **CAESES**软件作为一款参数化建模软件，能够很好的完成船体型线的半/全参数化建模工作，通过能够与**CFD**软件连接，建立系统化的**CAE**平台；

(2) 半参数化与全参数建模，在实际的船体型线优化过程中均能够发挥很好的水动力性能优化效果，可根据实际工作情况选择合适的参数化建模方法；

(3) **CAESES**与**STAR-CCM+**等**CFD**软件的一体化平台建立，为基于裸船体总阻力、月池和附体阻力增加以及自航工况的型线优化提供了更多的实现手段，也给工程师的设计优化工作提供了极大的便利；

(4) 期待**CAESES**软件在不断的更新和发展中提供给型线设计者更多新功能、新体验！



欢迎指导！

张 琪

中国远洋海运重工 技术研发中心

zhangqi@cosco-shipyard.com