



中船重工

CAESES在主流船型优化中的应用研究

报告人：陈京普 chenjingpu@702sh.com

中国船舶重工集团公司第七〇二研究所





中船重工

主要内容：

Contents

1. 七〇二所在绿色船型开发的进展
2. 集装箱船线型优化
3. 静水和波浪中的多目标船型优化
4. 小结





中船重工

1. 七〇二所在绿色船型开发的进展

□ 七〇二所简介

➤ 七〇二所主要从事舰船、海洋工程与水中兵器的**水动力性能**、**结构性能**和**减振降噪**的综合性理论与试验研究；是我国舰船研究领域主要从事国防科技工业基础研究和应用基础研究、以海军装备建设和船舶工业技术发展服务为主的研究所和大型试验基地。

➤ 拥有20多座实验室

➤ 两个国家级检测中心

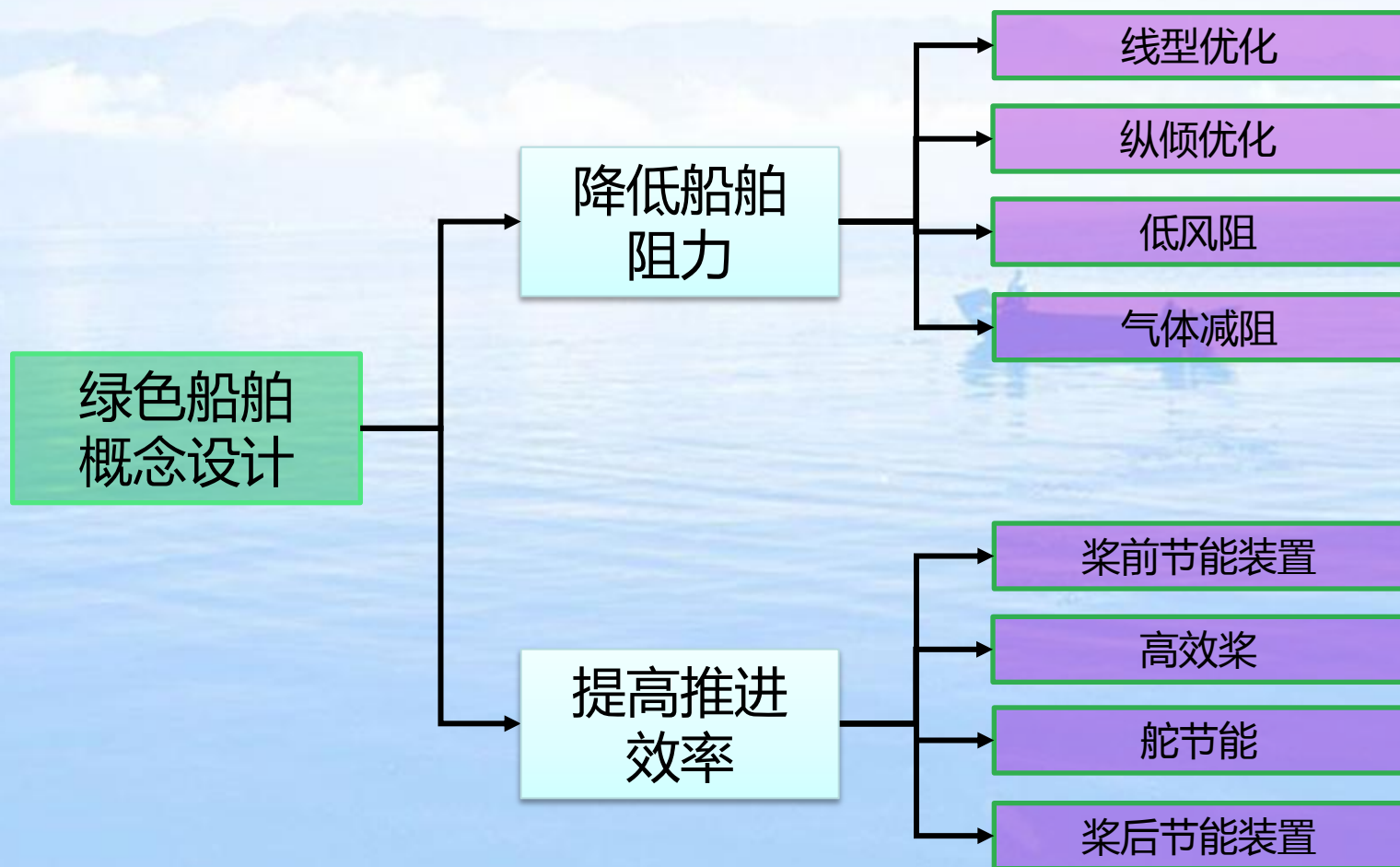
➤ 多个国家级重点实验室





1. 七〇二所在绿色船型开发的进展

□ 主要研究方向





中船重工

1. 七〇二所在绿色船型开发的进展

□ 主要技术能力

- 船型参数化建模
- 船舶技术性能数据库
- 船舶综合航行性能预报
- 船舶失速系数(f_w)评估
- 风阻优化
- 气体减阻
- 节能装置
- 概念设计多目标优化
- 非线性兴波数值预报方法
- 基于全粘流的CFD技术
- 船舶耐波性研究
- 船舶操纵性研究

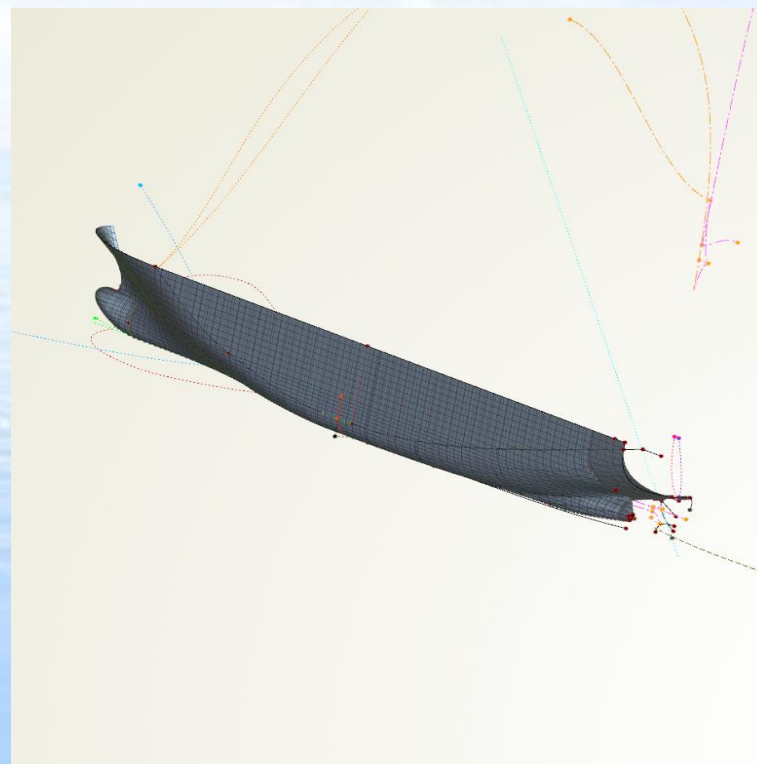
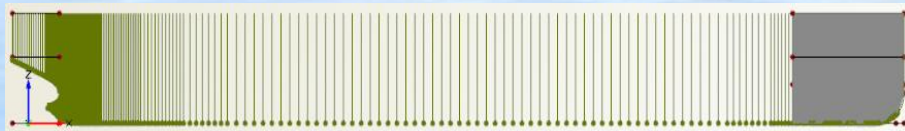




1. 七〇二所在绿色船型开发的进展

□ 船型参数化建模

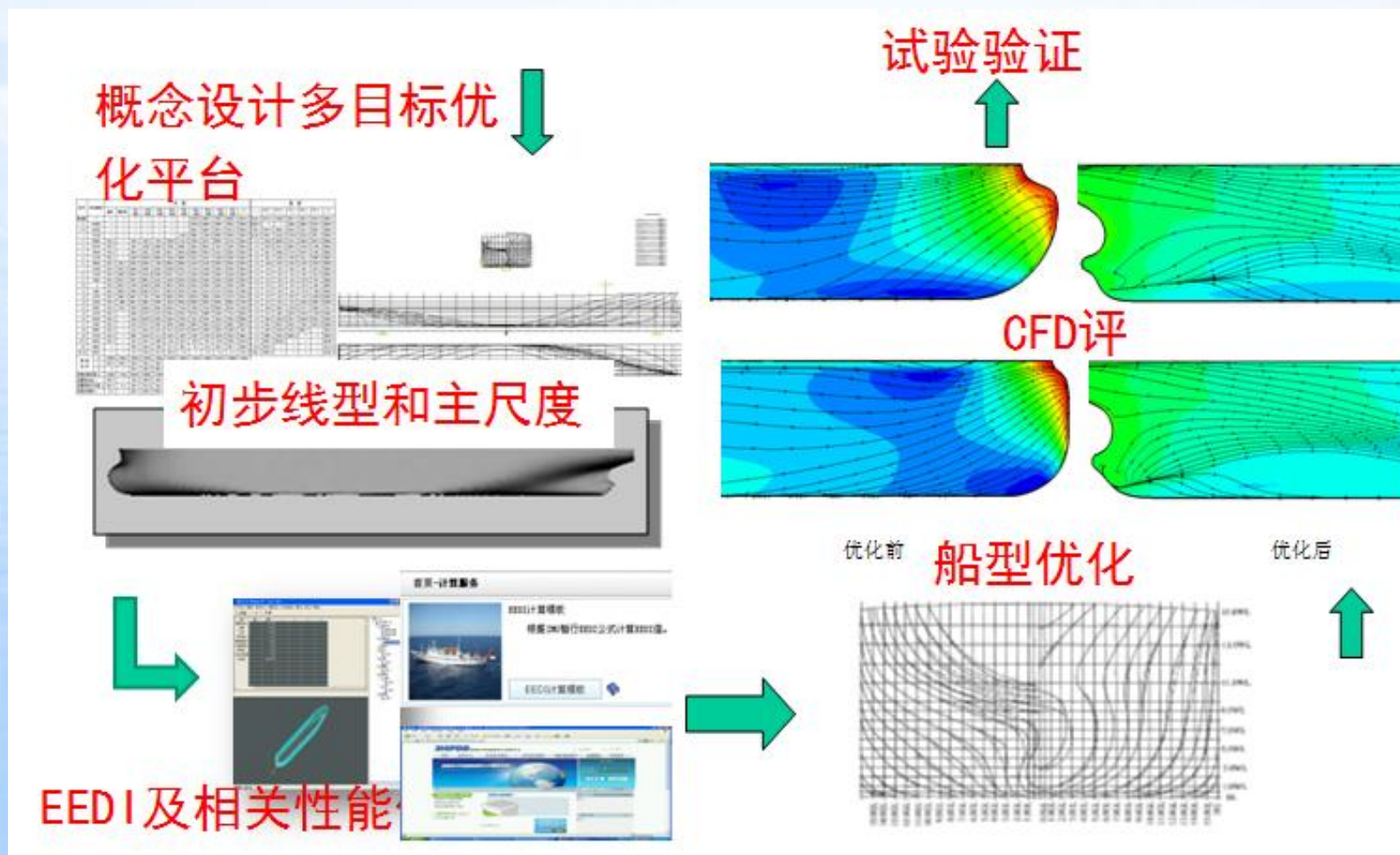
- 半参数化建模
- 全参数化建模
- 单桨线型建模
- 双尾鳍线型建模





1. 七〇二所在绿色船型开发的进展

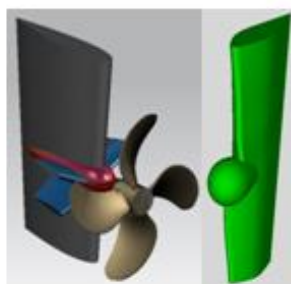
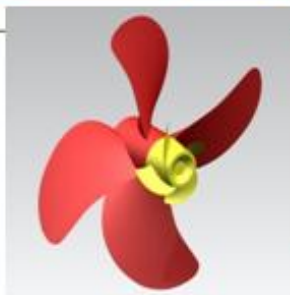
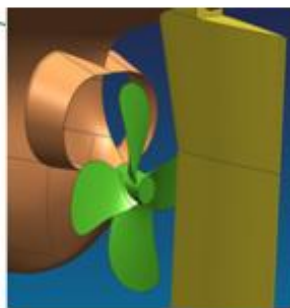
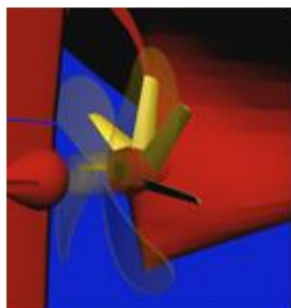
□ 船型优化设计流程





1. 七〇二所在绿色船型开发的进展

□ 节能装置造型与优化



◆ 螺旋桨前方

- 前置导叶 PSS
Pre-Swirl Stator 2-5%
- 伴流补偿导管 WID
Wake Improving Duct 3-7%
- 前置预旋导轮 PSV
Pre-Shrouded Vanes 3-8%

◆ 螺旋桨后方

- 消涡鳍 HVAF
Hub Vortex Absorbed Fins 2-5%
- 舵球/舵附加鳍 FR
Bulb & Fins on Rudder 1-3%
- 后置定子 PSF
Post Stator Fins 2-3%



中船重工

主要内容：

Contents

1. 七〇二所在绿色船型开发的进展
2. 集装箱船线型优化
3. 静水和波浪中的多目标船型优化
4. 小结

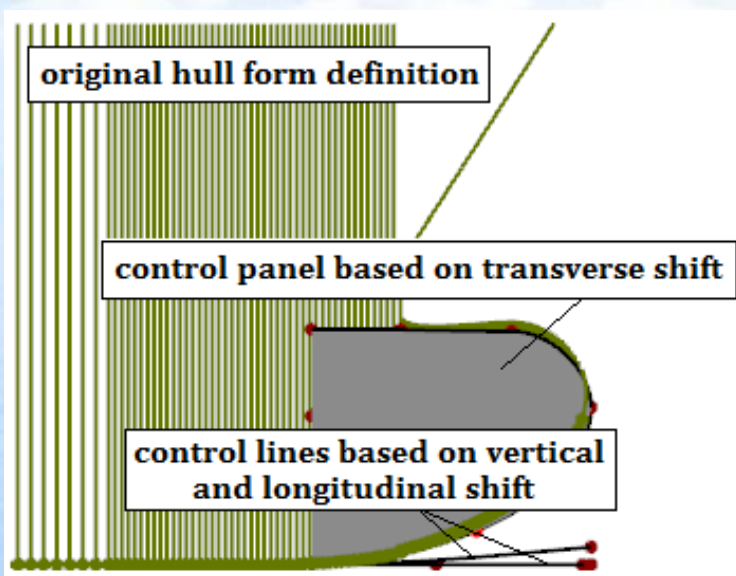




中船重工

2. 集装箱船线型优化

□ 低航速优化设计-半参数化



- ✓ 运用软件中的**Delta shift**功能，在球艏所在位置x方向和z方向分别设置控制线，对球艏的长度和高度进行改变，控制线与船体部分是二阶连续可导，这样保证新生成的球艏与原船型船体部分能够光滑连接；
- ✓ 并运用**Surface Delta Shift**功能，在球艏位置设置控制面，对球艏的宽度进行改变。

万箱级集装箱船($V_s=18kn$)



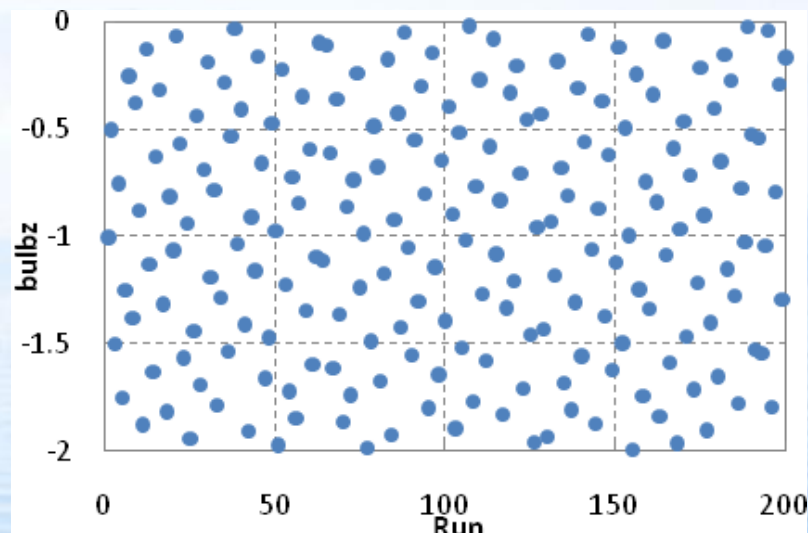


中船重工

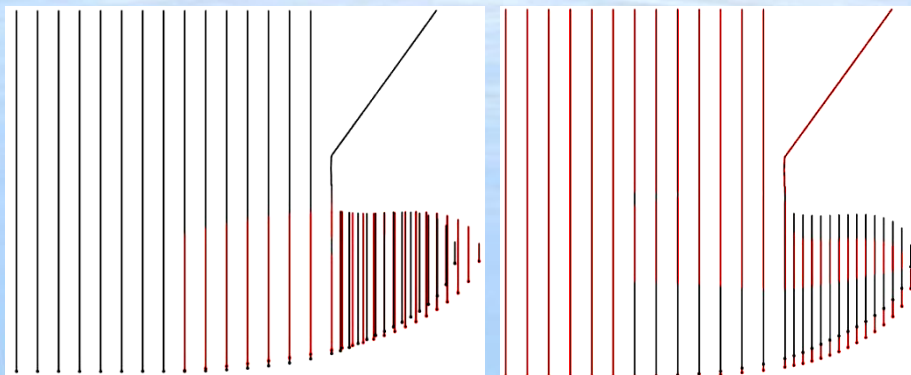
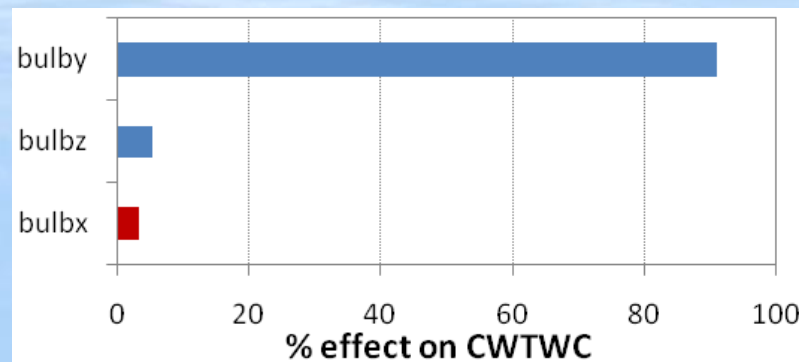
2. 集装箱船线型优化

低航速优化设计-半参数化

变量名	取值范围	变量说明
bulbx	(-3,0)	数值越大, 球艏越长
bulby	(-2,0)	数值越大, 球艏越宽
bulbz	(-2,0)	数值越大, 球艏越高



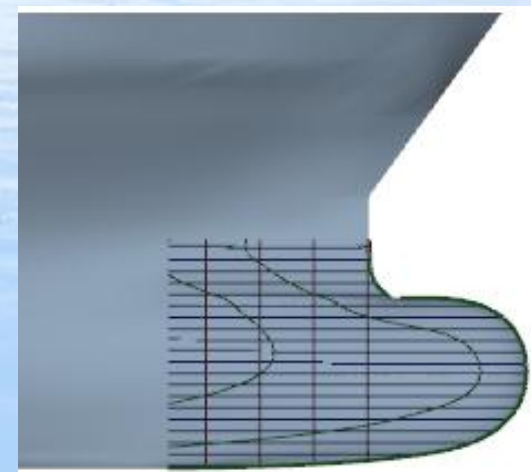
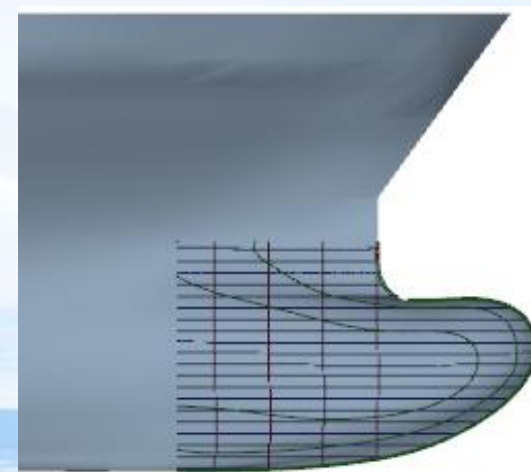
各参数对兴波阻力的影响效应图:





2. 集装箱船线型优化

低航速优化设计-全参数化建模



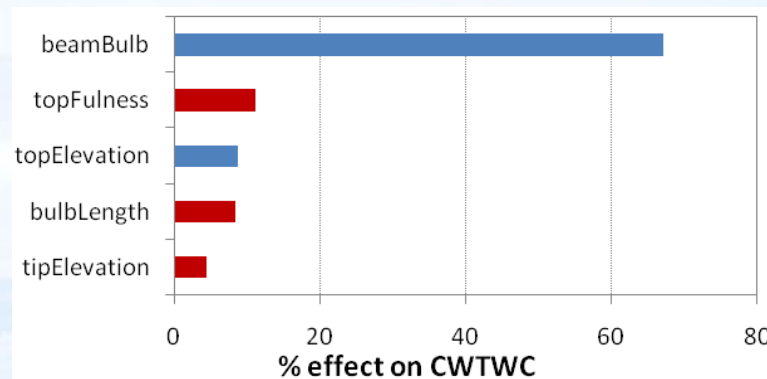
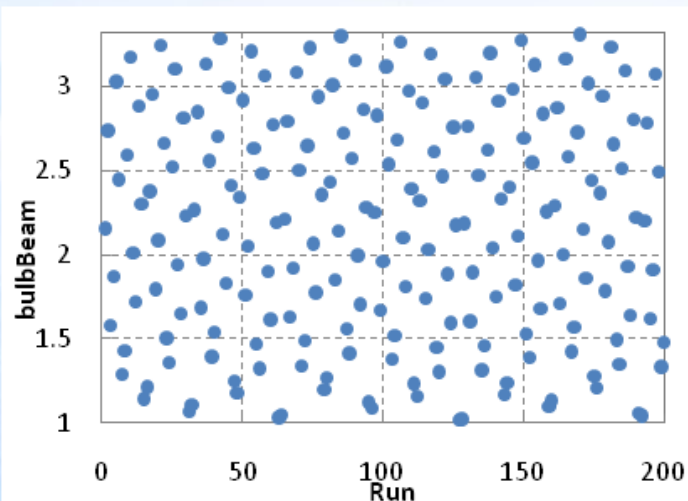
变量名	取值范围	变量说明
tipElevation	(7.9,9.9)	球艏前顶点高度
bulbLength	(3,8.3)	球艏长度
topElevation	(12.2,13.2)	上轮廓曲线高度
topFulness	(0.72,1)	上轮廓曲线丰满度
bulbBeam	(1,3.32)	球艏厚度

船型方案比较

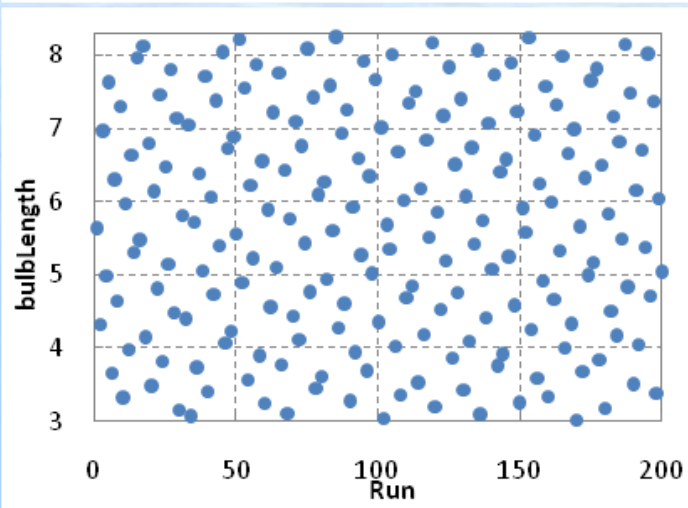


2. 集装箱船线型优化

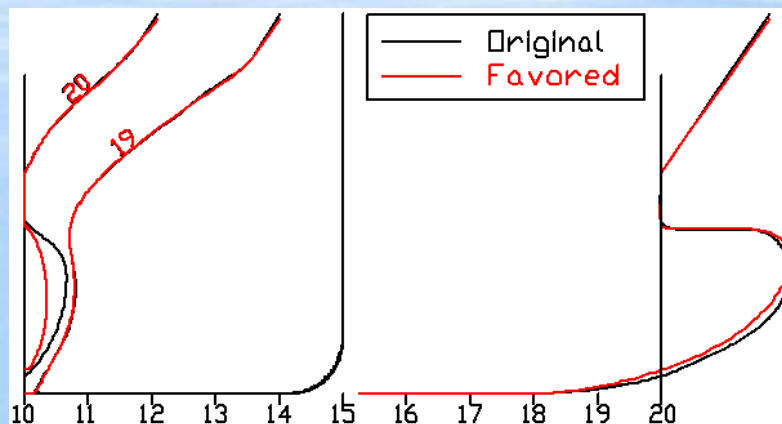
低航速优化设计-全参数化建模



各参数对兴波阻力的影响效应图



最终改型与原型横剖面曲线图对比





2. 集装箱船线型优化

低航速优化设计-计算对比

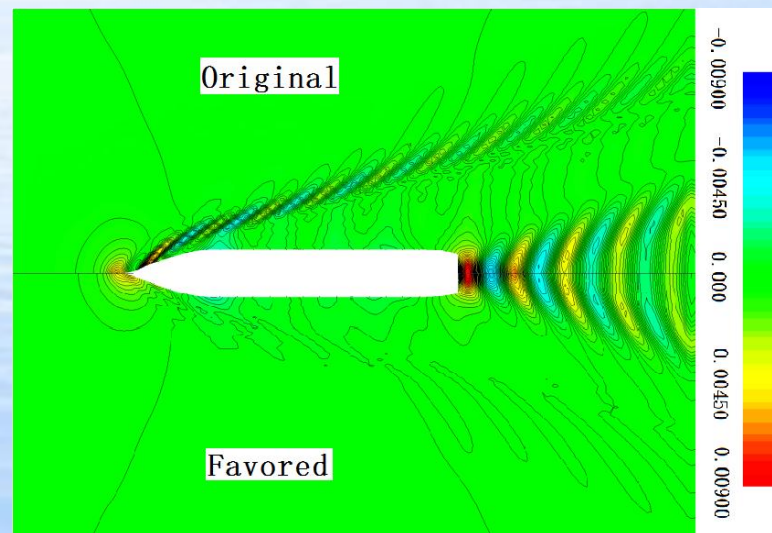
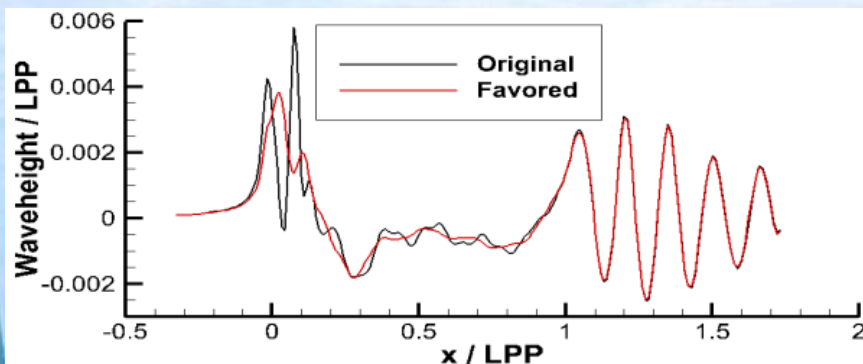
兴波阻力系数对比:

	航速	原型	改型
CWTWC / CWTWC ₀	Vs=18 kn	100%	85.0%

自由面波形云图对比:

舷侧波形图对比:

18kn

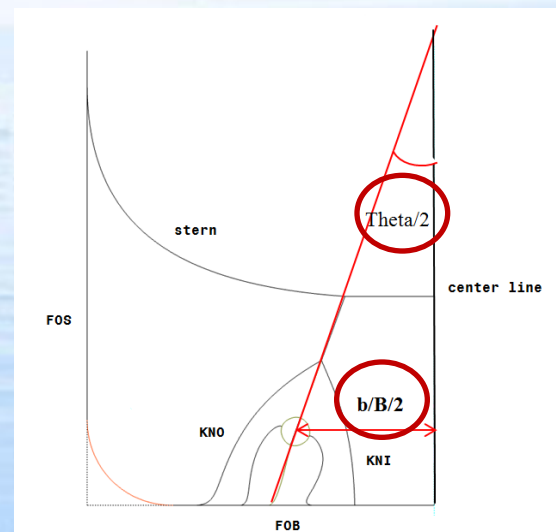
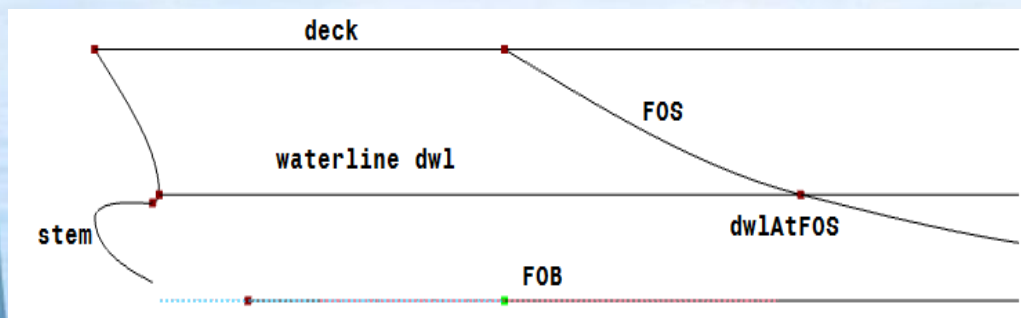




2. 集装箱船线型优化

□ 双尾鳍集装箱船-参数建模

将双尾鳍集装箱船分为四个部分：球鼻艏、艏部、双尾鳍外侧、双尾鳍内侧，分别对船体曲面进行建模。





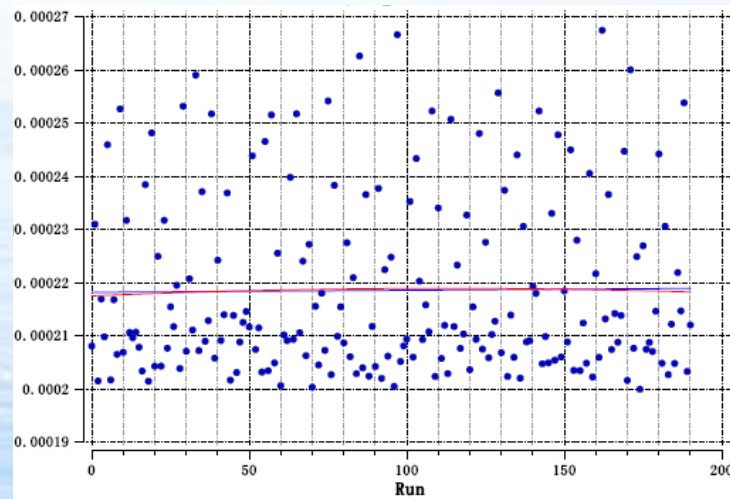
2. 集装箱船线型优化

□ 双尾鳍集装箱船-兴波阻力优化

选取的控制参数:

参数	取值	备注
Coef_bulbLength	[0.035,0.07]	球鼻艏长度
Coef_dwlFullnessFwd	[0.65,0.75]	水线丰满度
dwlEntranceAngle	[5,10]	水线进流角
Coef_dwlatFOS	[0.29,0.36]	水线与平边线交点

兴波阻力分布:



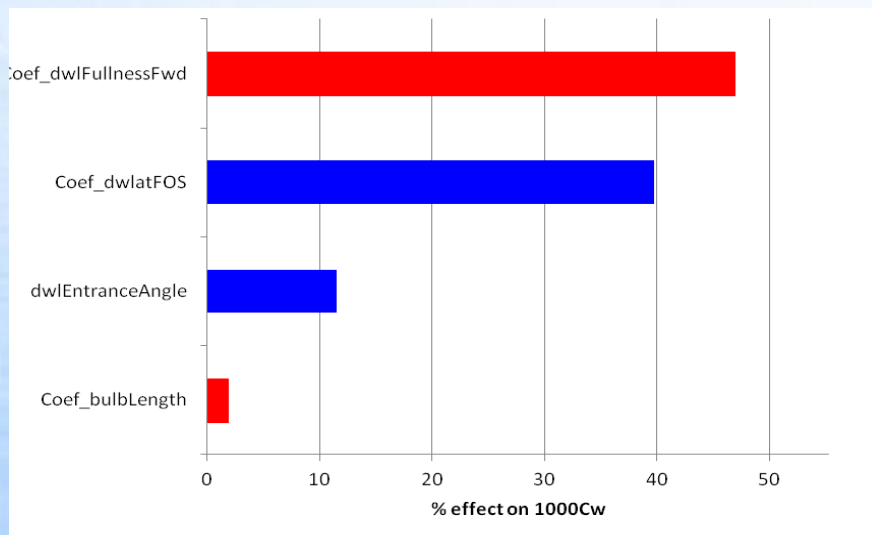
✓ 通过优化，兴波阻力系数降低约25%。



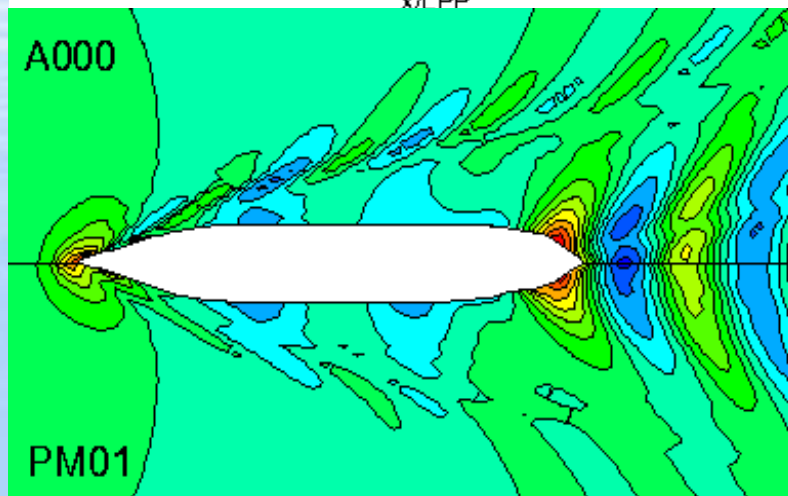
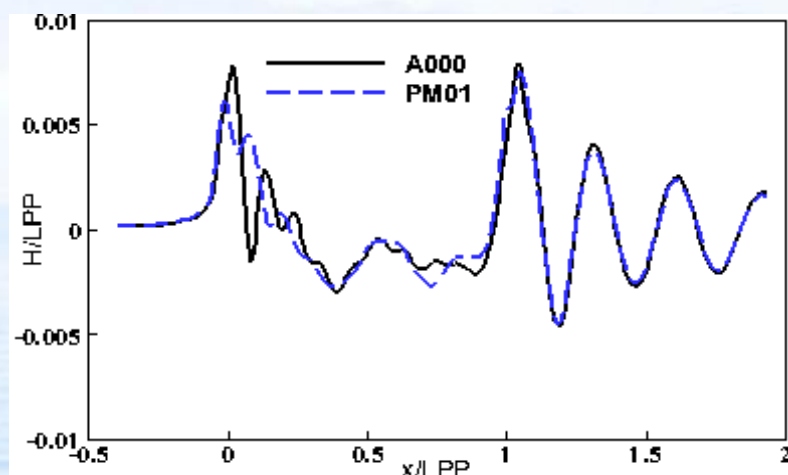
2. 集装箱船线型优化

双尾鳍集装箱船-参数敏感分析

参数敏感度分析:



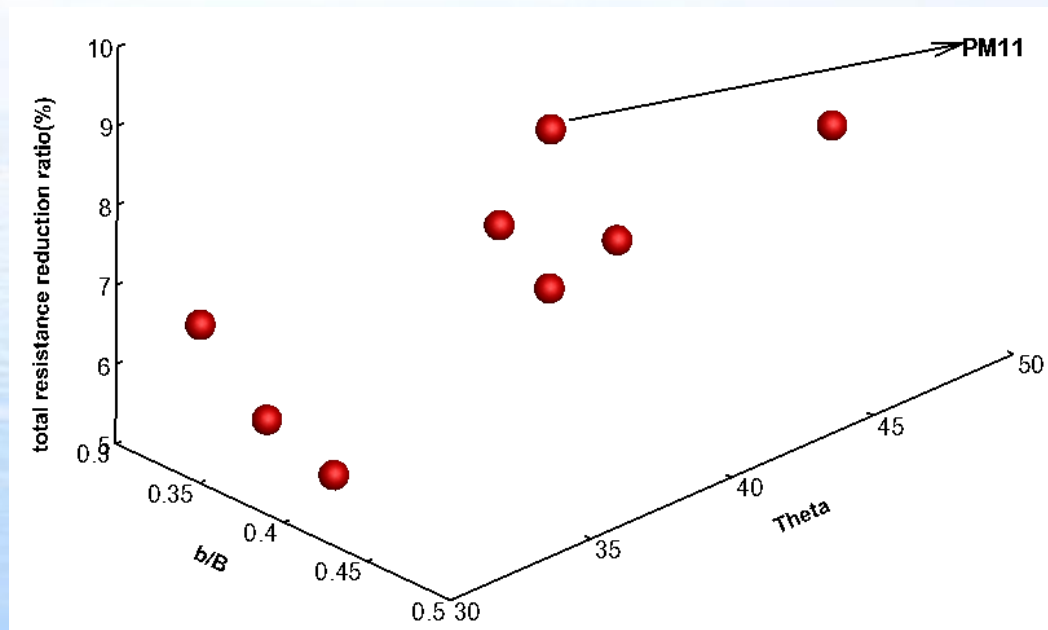
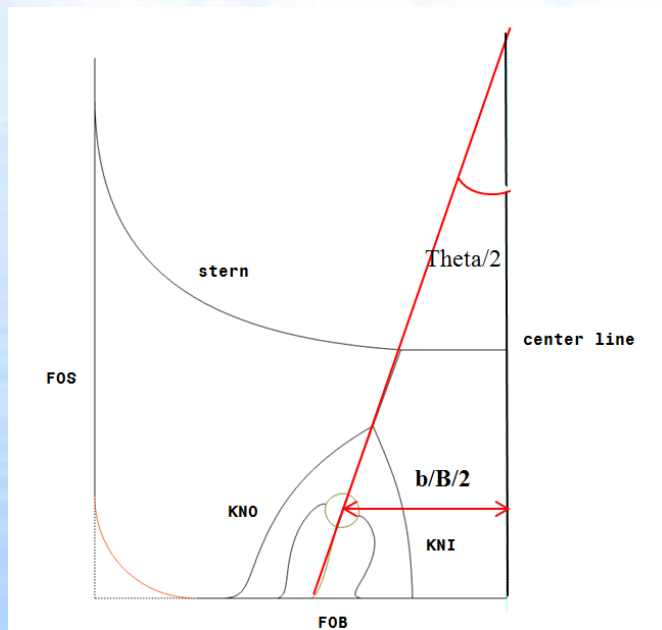
舷侧波形及自由面兴波云图对比:





2. 集装箱船线型优化

□ 双尾鳍集装箱船-尾鳍优化





中船重工

主要内容：

Contents

1. 七〇二所在绿色船型开发的进展
2. 集装箱船线型优化
3. 静水和波浪中的多目标船型优化
4. 小结

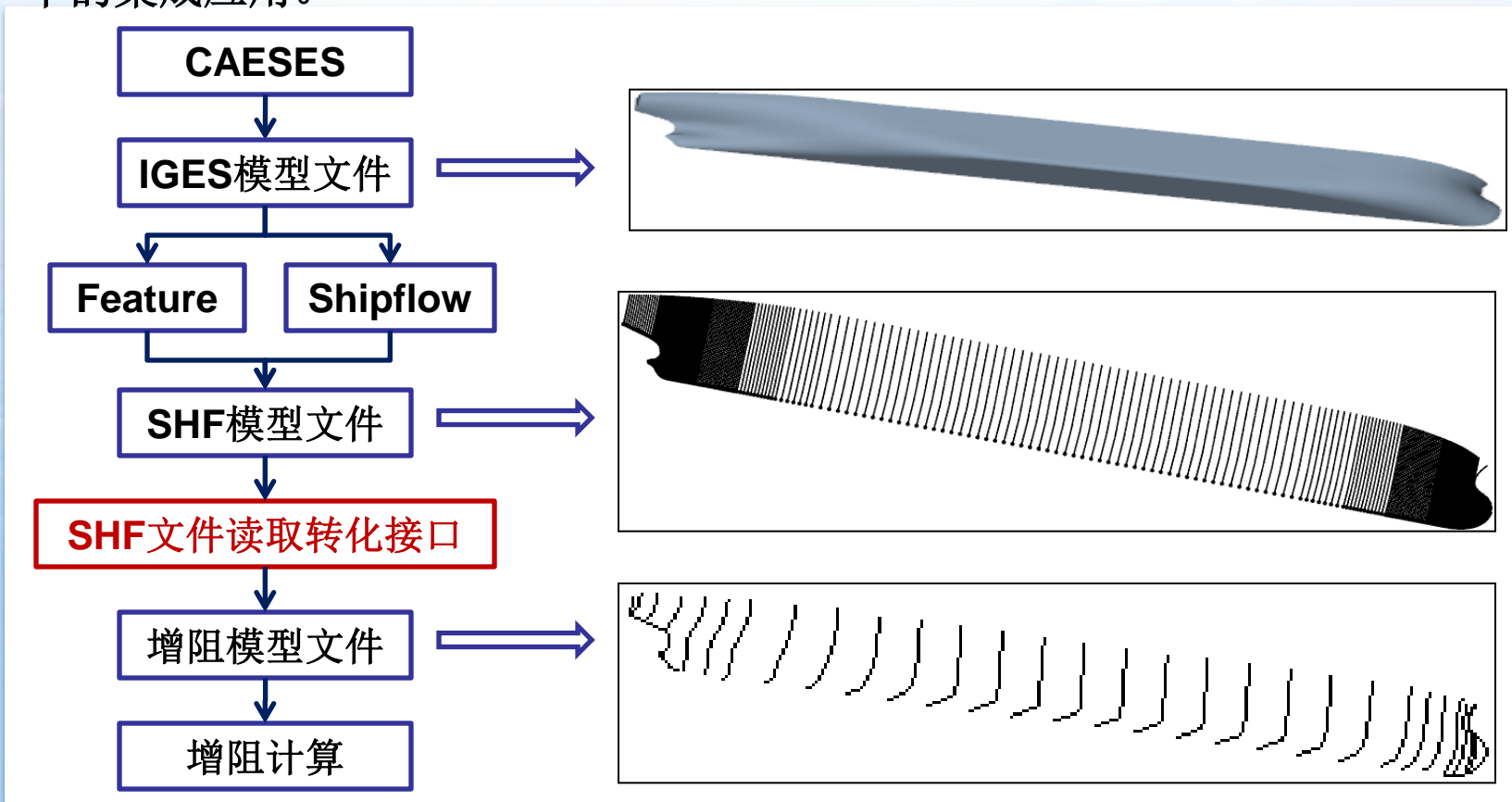




3. 静水和波浪中的多目标船型优化

□ 集成优化系统开发

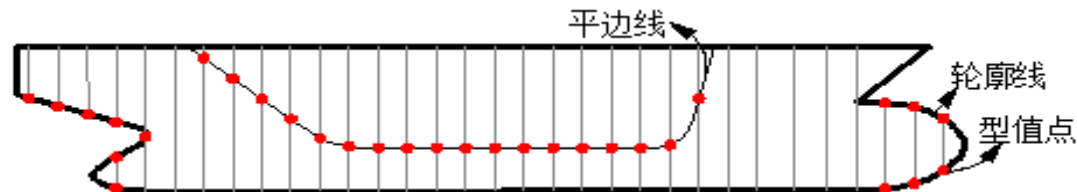
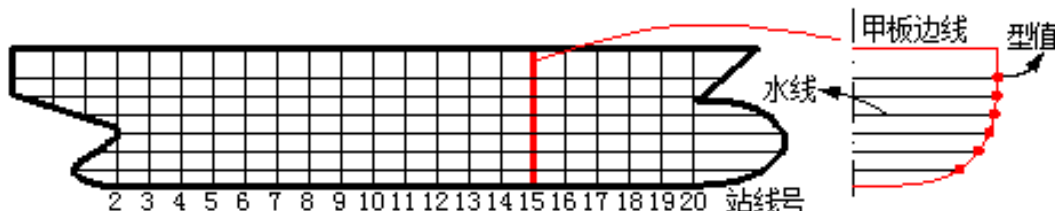
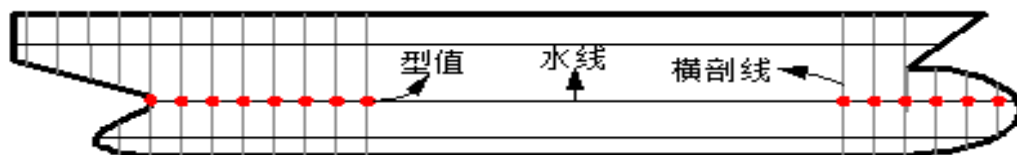
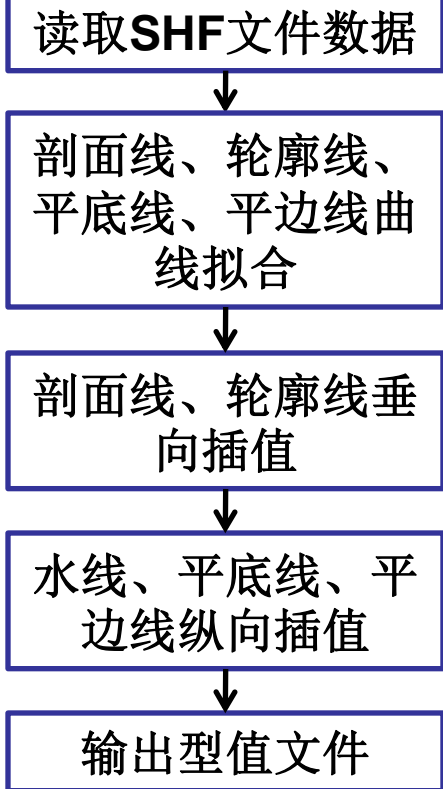
静水阻力采用软件集成的CFD求解器求解，波浪增阻计算采用CSSRC自主开发的基于切片理论的计算程序，需要实现波浪增阻计算软件在软件中的集成应用。





3. 静水和波浪中的多目标船型优化

集成优化系统开发



3. 静水和波浪中的多目标船型优化

集成优化系统开发

1 Definition

2 Configuration

3 Computation

4 TableViewer

	0	1	2	3
0	0.101	8.05	102.05	100.58
1	0.121	9.65	94.94	108.48
2	0.131	10.45	94.91	112.43
3	0.151	12.04	87.55	120.33

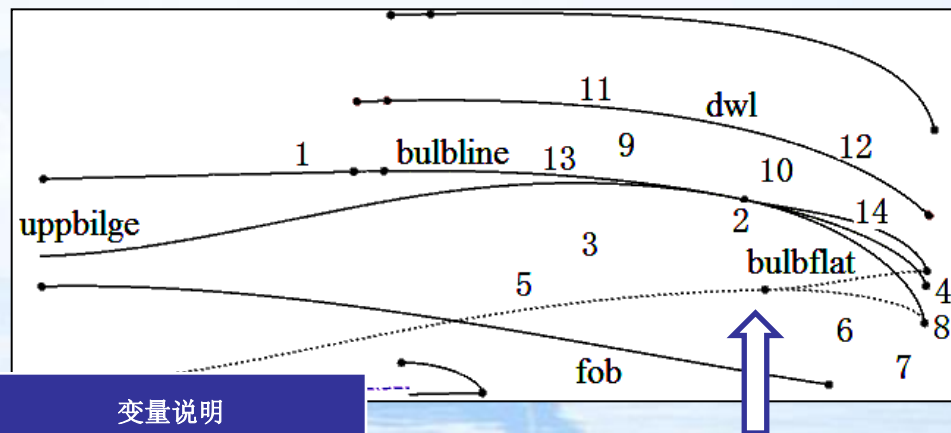
Lwave/L	raw	0	1	2	3	4
0	4.0001	0.0184	0.0216	0.0234	0.0272	
1	3.5003	0.0351	0.0418	0.0457	0.0543	
2	3	0.0763	0.0935	0.1033	0.126	
2	2.5001	0.0998	0.0985	0.0918	0.0804	



3. 静水和波浪中的多目标船型优化

□ 参数选择

设计变量表:



各参数在参数化
船体曲面中控制的
点、线或曲面

编号	变量名	下限	初始值	上限	变量说明
x01	controlPanelFbdy_Zpos	13	13	15	控制bulbline的高度
x02	controlPanelFbdy_XMidPos	0	0.3747	0.3747	控制bulbline附近的曲面
x03	fullness_forz_Value	0.4	0.6222	0.6222	控制船首艤部曲面的丰满度
x04	controlPanelFbdy_bulbflat	1	5	5	控制首轮廓线的形状
x05	controlPanelFbdy_At_Mid	0.4	0.7071	1	控制bulbline与fob之间的曲面
x06	controlPanelFbdy_At_Bulb	0.4	0.6	1	控制bulbline与fob之间的曲面
x07	part4weight_Value	0.1	0.4	0.7	控制首轮廓线的形状



中船重工

3. 静水和波浪中的多目标船型优化

□ 优化数学模型的建立

约束条件:

排水体积变化量小于1%

目标函数:

(1) 静水阻力采用CFD计算

(2) 波浪增阻取蒲氏6级海况下的不规则波增阻

海况参数:

	平均风速 m/s	平均风向 deg	有义波高 m	平均跨零周期 s	平均浪向 deg
蒲氏6级	12.6	180(迎风)	3.0	6.9	180(迎浪)

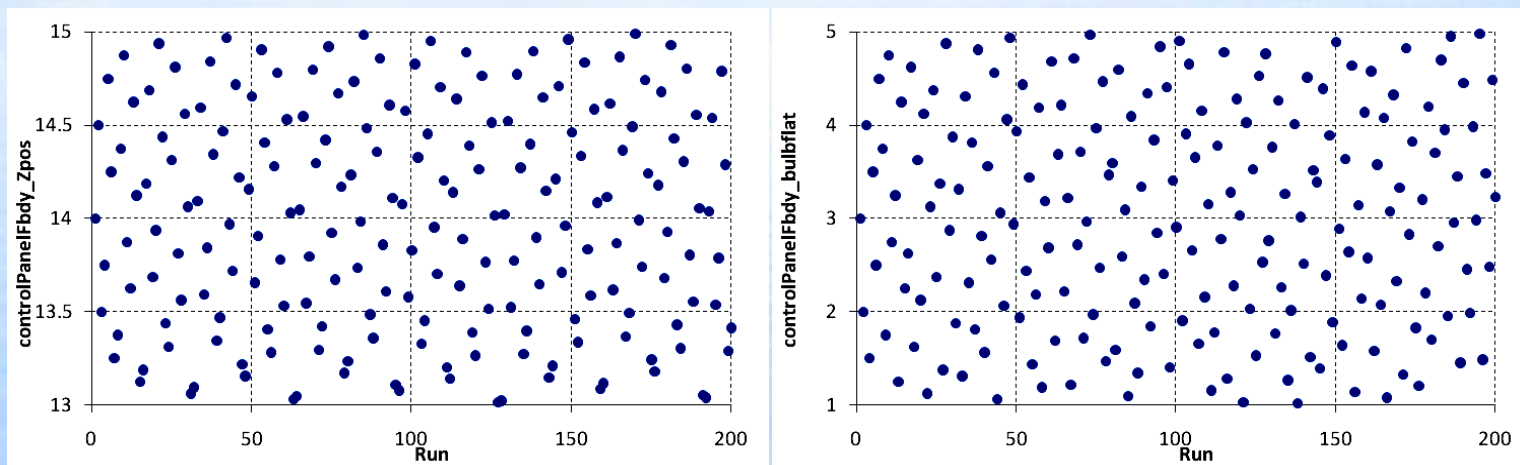




3. 静水和波浪中的多目标船型优化

□ 设计空间搜索

根据设定的参数，采用**Sobol**搜索算法，对优化设计空间进行初步的搜索，分析各参数对船体性能的影响。在该优化搜索中，设计的生成方案为**200**个。**Sobol**算法能够对设计空间进行比较准确的探索评估，为后续的优化工作提供良好的数据支持。

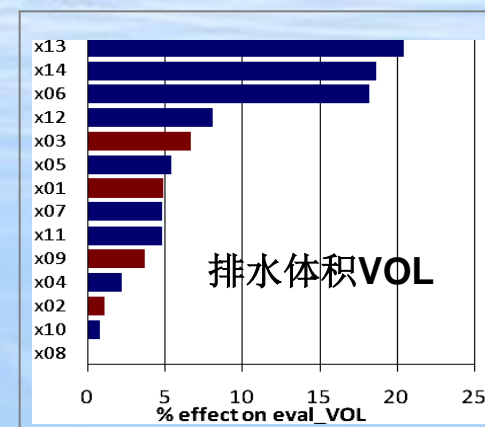
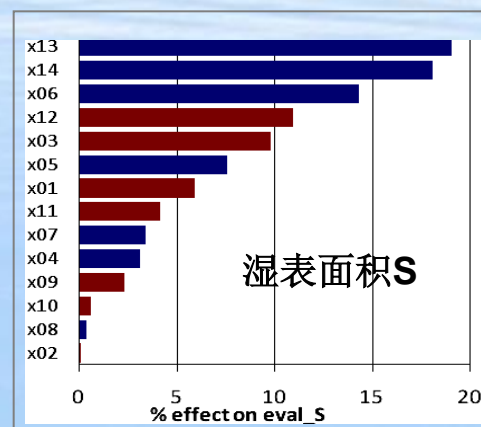
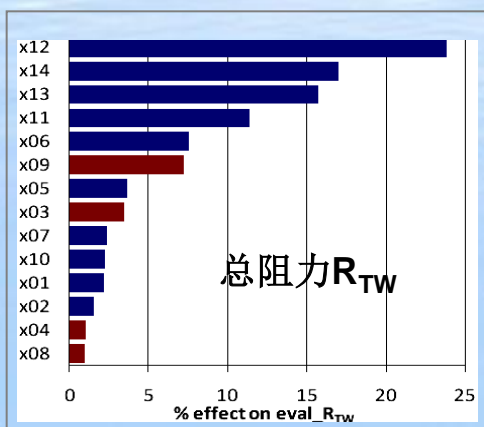
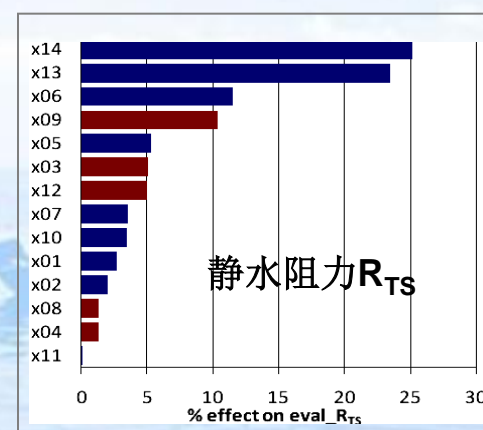
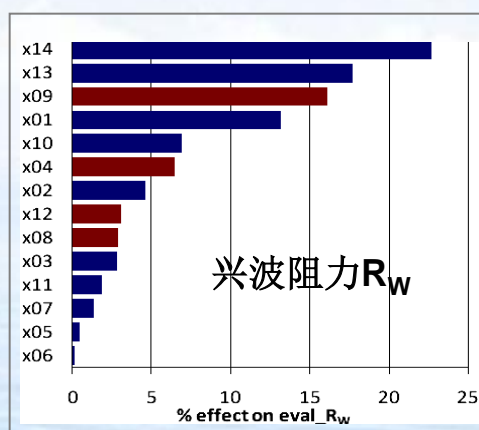
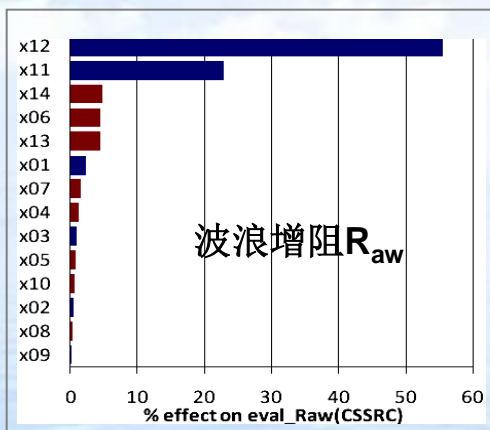


Sobol算法中设计变量在设计空间的分布



3. 静水和波浪中的多目标船型优化

参数敏感性分析

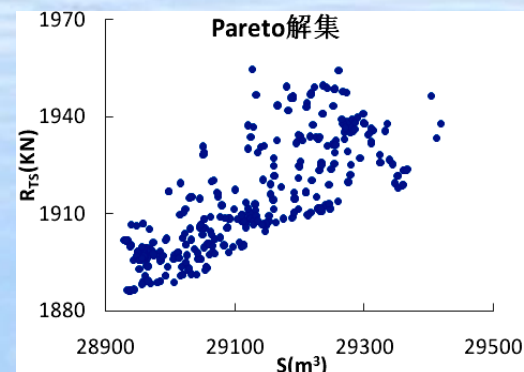
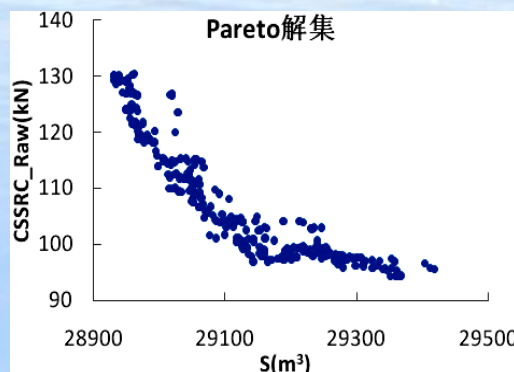
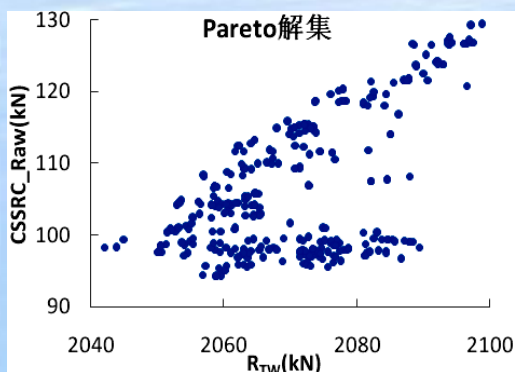
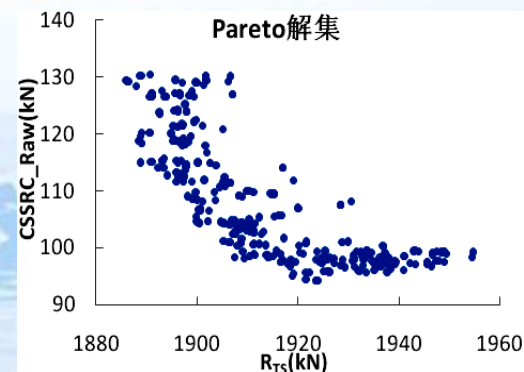
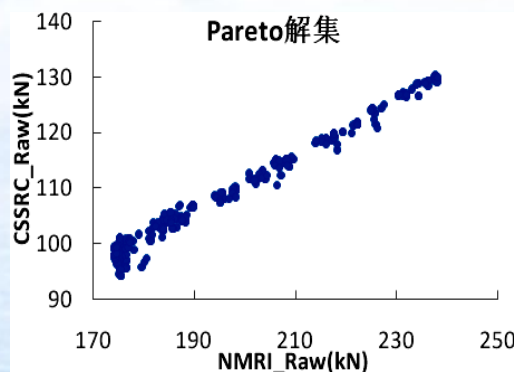
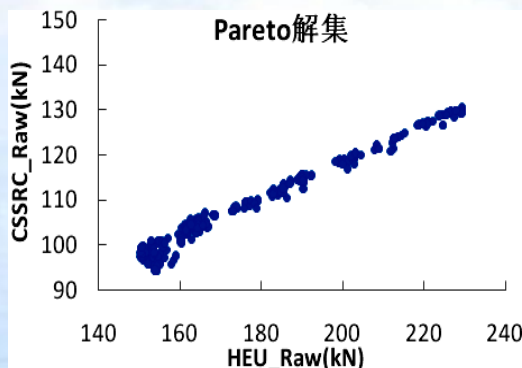




3. 静水和波浪中的多目标船型优化

□ 多目标船型优化

采用遗传算法NSGAI_{II}继续优化，控制参数为：初始群体56个，最大进化次数100代，交叉概率0.9，变异概率0.05，最终得到全局Pareto最优化解。

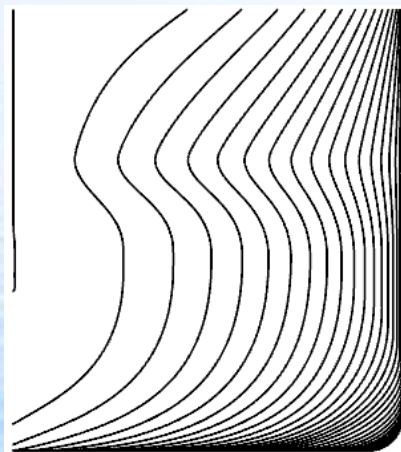




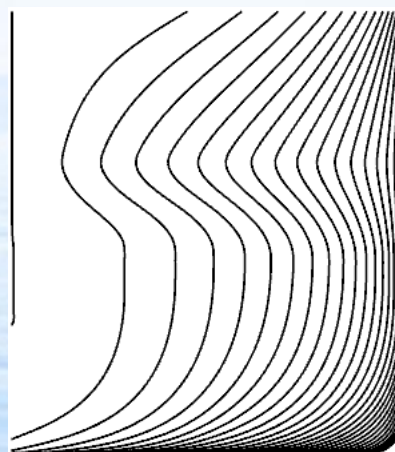
3. 静水和波浪中的多目标船型优化

□ 优化结果分析

在Sobol算法和NSGAI遗传算法的改型中分别选取一个波浪中总阻力最小的方案，对其湿表面积、排水体积以及阻力性能数值计算结果进行对比分析。



Sobol改型NO01



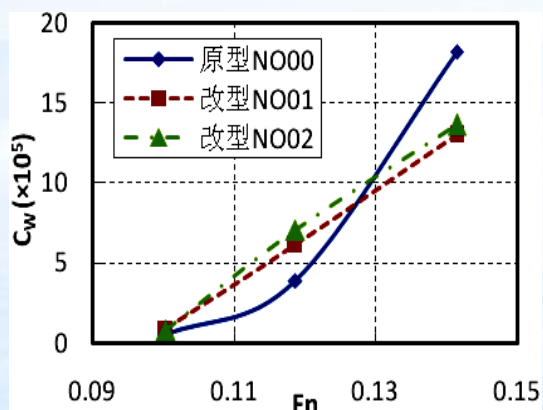
NSGAI改型NO02

	原型NO00	改型NO01	变化值	改型NO02	变化值
S/m ²	29016	29199	+0.63%	29165	+0.51%
VOL/m ³	354324	353123	-0.34%	353187	-0.32%

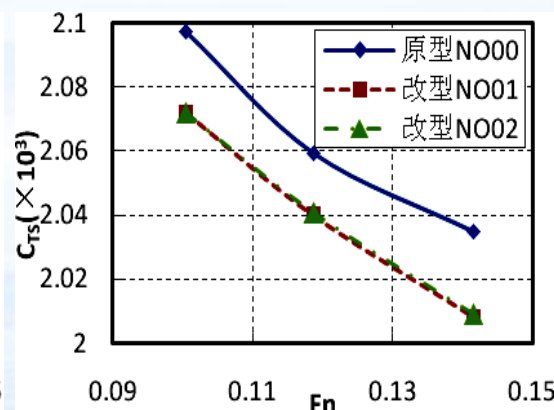


3. 静水和波浪中的多目标船型优化

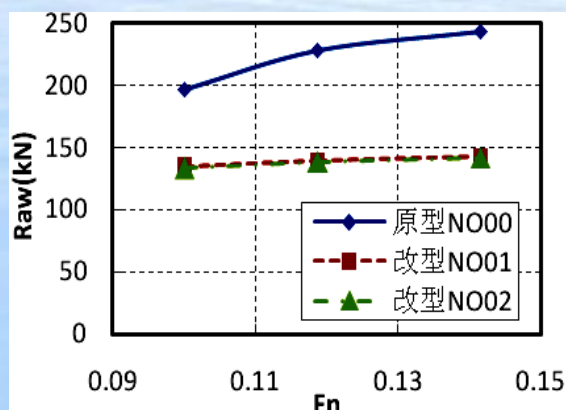
□ 优化结果分析



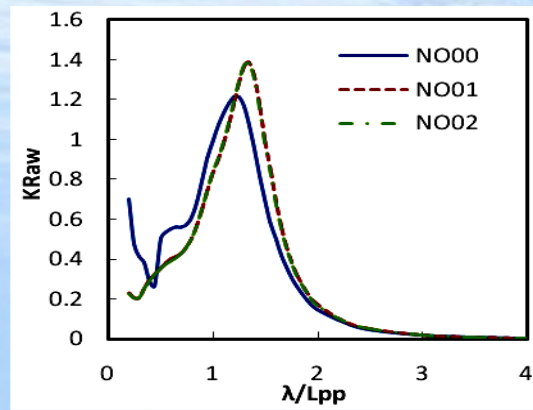
兴波阻力系数 C_w



静水阻力系数 C_{TS}



波浪增阻 R_{aw}



规则波增阻



中船重工

主要内容：

Contents

1. 七〇二所在绿色船型开发的进展
2. 集装箱船线型优化
3. 静水和波浪中的多目标船型优化
4. 小结





4. 小结

- 基于CFD的船型优化技术已经获得了广泛的应用；
- CAESES的半参数和全参数化建模技术成功地用于一条万箱级低速集装箱船的线型优化，经模型试验验证优化方案可在低航速(18kn)时降低6%以上的阻力；
- 参数化建模特别适用于复杂线型的优化，本文成功地开展了双尾鳍集装箱船的线型优化，总阻力降低8%以上；
- 基于CAESES软件的二次开发功能，本文建立考虑静水和波浪中的多目标线型优化技术；
- 考虑效率和效果，软件的灵活性和易用性可进一步改进。