

某船尾部线型数值优化

Numerical Optimization about stern of a ship modeled lines

摘要：本文将 3 种软件建立为数值优化集成平台，并且结合专家经验成功地对一艘船的尾部线型进行数值优化，得到结果比较令人满意。

关键词：数值优化集成平台；专家经验；尾部线型优化

Abstract: The integration platform of numerical optimization based on three types software was founded in this article, with the help of the specialist experience. The stern of a ship modeled lines were successfully optimized by this platform, and the result was satisfactory.

Key words: integration platform of numerical optimization; specialist experience; stern of a ship modeled lines

1 前言

当今社会，提倡降低能耗、减少成本、提高效率，优化技术迅速成为一个热门的学科，建立船舶快速性能数值优化集成系统，是一种发展趋势。在船舶界，传统的船型优化方法是，设计师根据自己的设计经验对船体型线进行修改，制作船模进行试验验证，不仅周期长、成本高，而且验证的方案有限。随着计算机技术的飞速发展，近年来，CAD、CFD 技术在航空、航天、海洋、机械等领域得到广泛的应用，成为主要设计手段之一。数值优化在船舶设计应用中的效果越来越明显，它能有助于加速实现数字化设计理念；它是 CFD 面向应用时的一种反命题问题的求解方式；数值优化还提供了整合、集成历史积累的计算数据并予以充分利用的一种形式；最终，还有望提供超出经验范围的新船型线或相关提示信息。本文根据设计实际需求，运用数值优化集成平台，即流场分析软件 STARCCM+、网格变形软件 DepMorpher 以及优化分析软件 ModelFrontier，针对某实际船体尾部线型进行优化分析，探索一种有效 CFD 分析优化流程及方法。

2 数值优化集成平台

2.1 数值优化数学模型

根据实际设计中需要和专家分析，确定了本次优化的具体位置、目标函数、优化变量。本次优化的目标是要求螺旋桨盘面处的流量最大，以及要求排水量变化最小；选取的优化变量是在船体尾部 1 站处的船体型线控制点（五个），根据变形软件的特点确定的固定区、过度区以及变形区见图 1 所示。根据目标函数的特点选取的优化方法为 DOE：SOBOL，而

优化算法：MOGA-II，采用两次优化方法加快优化速度。

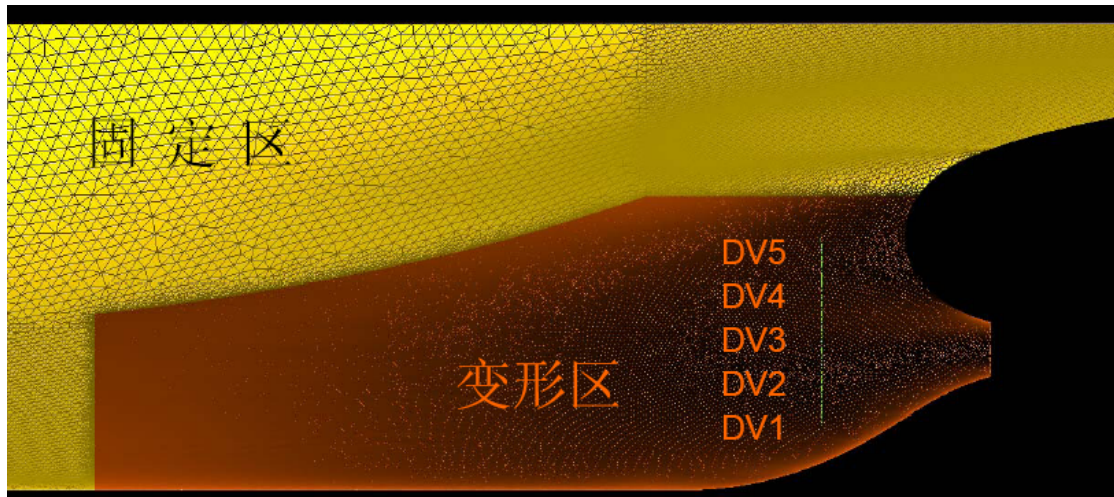


图1 优化区域以及优化变量

2.2 建立数值优化软件集成系统

本次优化的初始面网格是在 ICEMCFD 中生成，在 STRACCM+初始建模以及生成的 TRIM 网格见图 2，初始网格数量为 318,513，几个软件建立的优化集成平台如图 3 所示，在 ModelFrontier 中的优化流程图如图 4 所示。

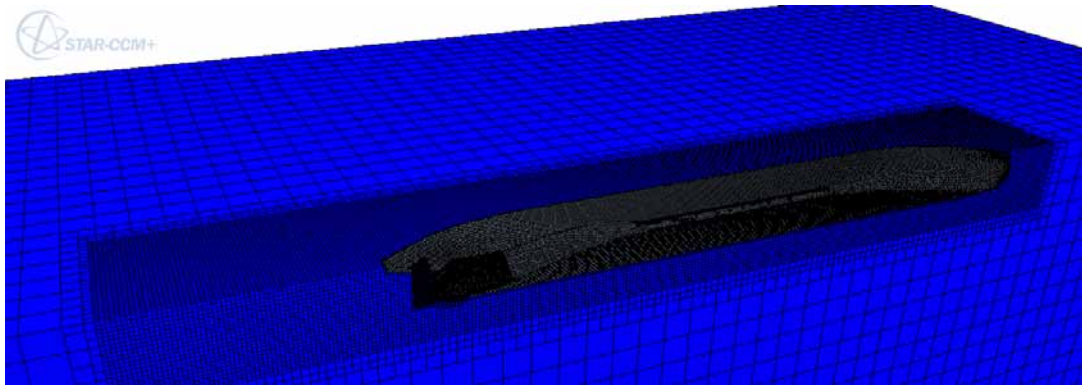


图2 STRACCM+中 TRIM 网格

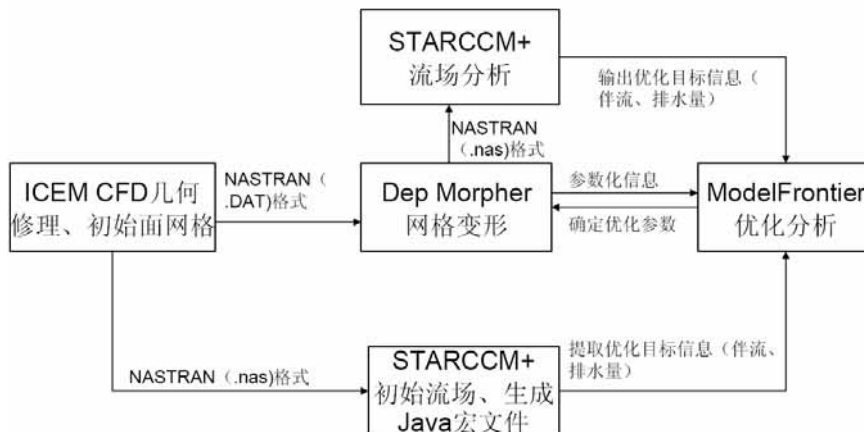


图3 基于 ModelFrontier 的优化集成平台

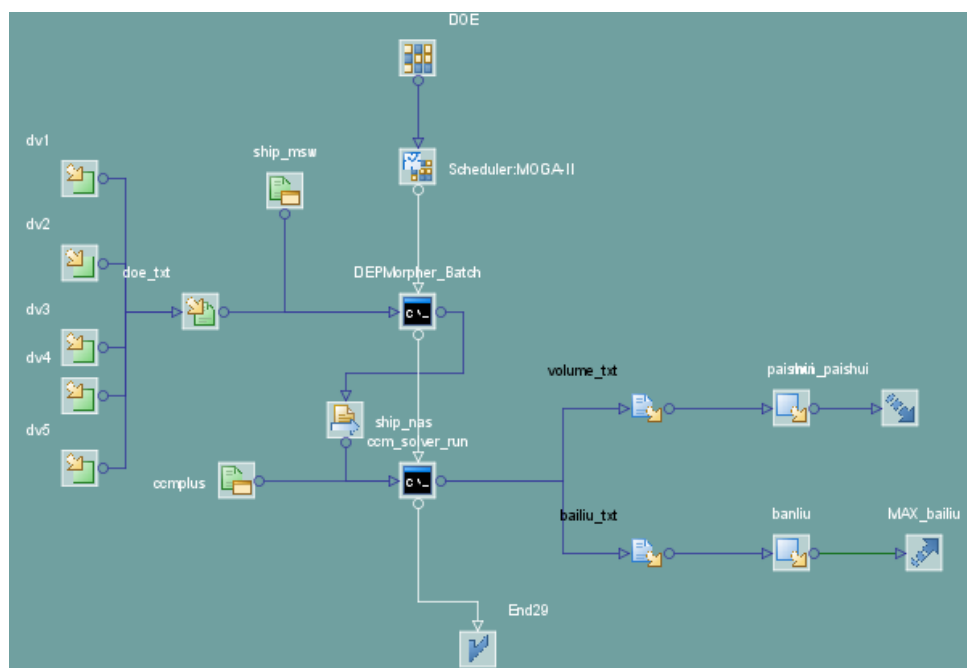


图 4 优化流程图

3 数值优化求解

在进行数值优化之前,必须对原型方案进行一套完整的计算,从中指定优化集成系统的输入文件、输出文件、以及输出变量。计算为模型尺度, $L_{pp}=5.8219$, $T=0.3712$, $B=1.0862$, $Fn=0.18$, 由于优化分析计算量比较大,所以此次流体分析没有考虑自由表面,只进行了单相(液体)流分析,分别在 STARCCM+中定义速度入口以及压力出口边界条件,其余边界为壁面边界条件。

对原始方案的流场分析结果如图 5。根据优化变量和优化方法的综合考虑,最后优化计算 130 个点左右,耗时 15 小时/2CPU。其优化结果以及结果分析如图 6-12。

从图 6 图 Pareto 解中可看出 pareto 解集已相当明显,从图 7 中可以得出 5 个优化变量对伴流都是负影响,对排水量都是正影响,并且其中变量 $dv1$ 的影响最大,在图 8 中,我们可以清楚知道各个设计点的设计参数、设计结果、目标,通过图 9 可过滤掉一些不需要的解,直观的观察各参数的大小及对应关系,从图 10 和表 1 可以得出, CASE131 的伴流最大, CASE38 的排水体积变化量最小, CASE24 则综合考虑两个目标函数,3 个方案的阻力几乎都无变化,从图 11 可以看出,从变形区到固定区船体表面曲线三向很光顺,从图 12 可以看出,不同方案的螺旋桨盘面处的伴流分布的变化以及船体尾部流线的不同。

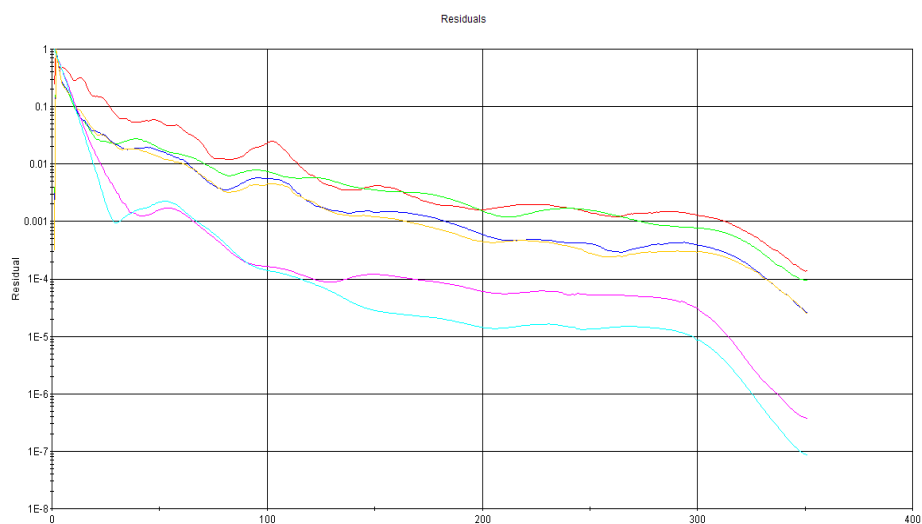


图 5a 原始方案收敛曲线

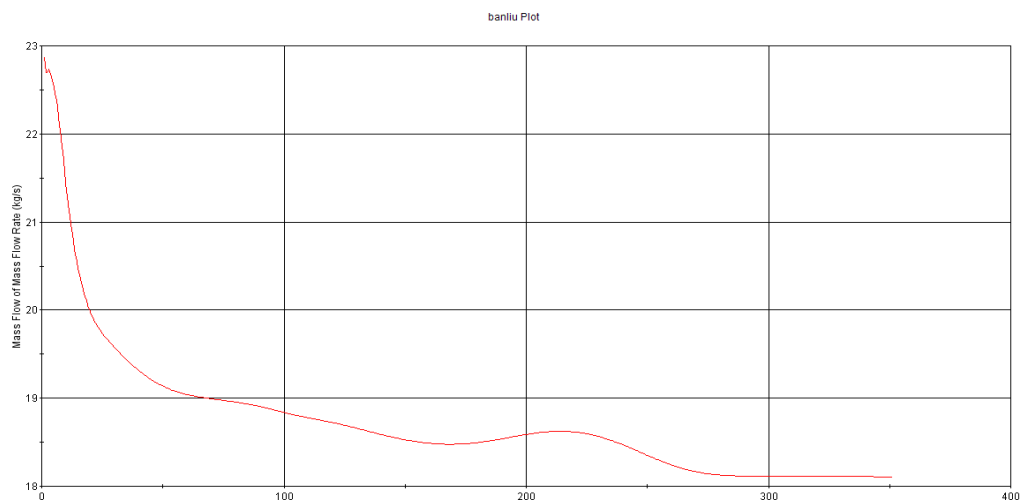


图 5b 原始方案螺旋桨盘面处流量

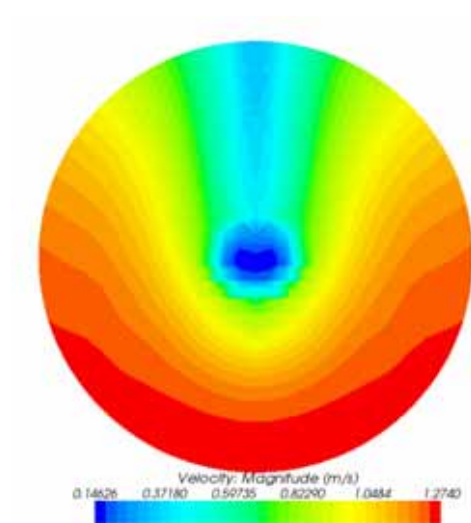


图 5c 原始方案螺旋桨盘面处伴流分布

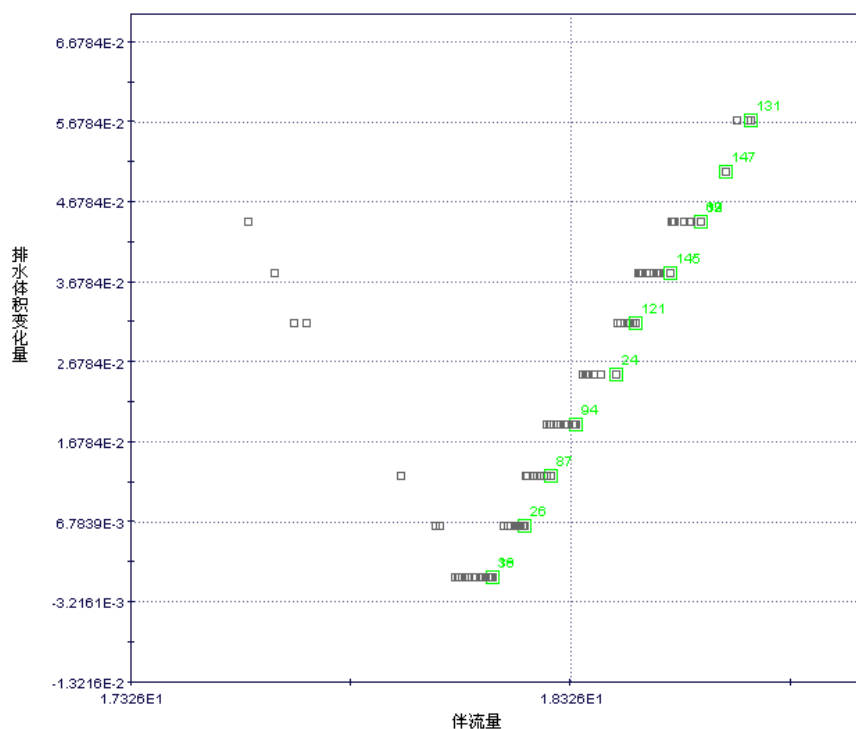


图 6 优化过程中的离散点图（其中绿色标注的为 Pareto 解即优解）

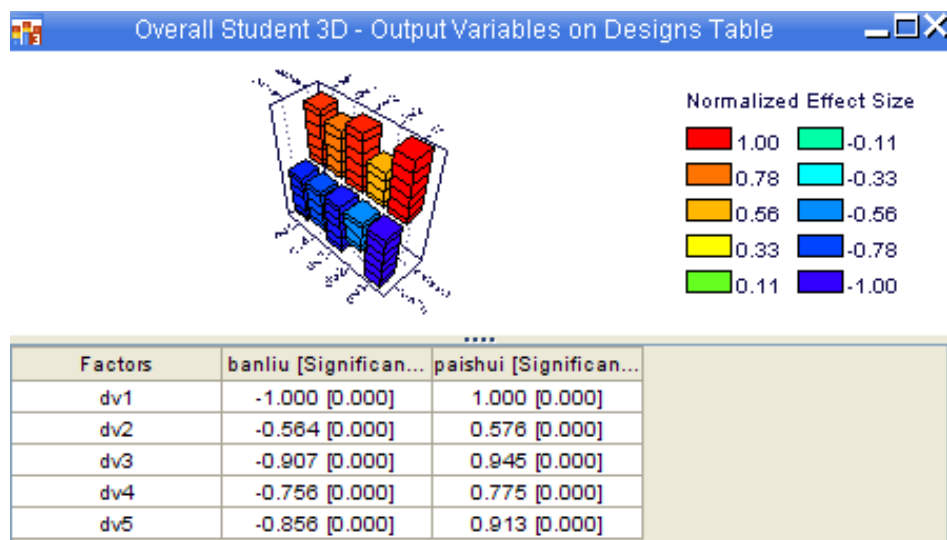


图 7 优化过程中的 Student 图（各变量对目标的影响程度）

Designs Table											
ID	RID	M	CATEGORY	dv1	dv2	dv3	dv4	dv5	banliu	paishui	MAX_bailiu
38		☒	MOGA2	-1.0000E-3	0.0000E0	0.0000E0	0.0000E0	0.0000E0	1.8146E1	9.6233E-1	1.8146E1
39		☒	MOGA2	-3.0000E-3	-5.0000E-3	-3.0000E-3	-3.0000E-3	-3.0000E-3	1.8620E1	9.6190E-1	1.8620E1
40		☐	MOGA2	3.0000E-3	3.0000E-3	3.0000E-3	3.0000E-3	1.0000E-3	1.7652E1	9.6269E-1	1.7652E1
41		☐	MOGA2	-1.0000E-3	1.0000E-3	-1.0000E-3	3.0000E-3	-1.0000E-3	1.8076E1	9.6233E-1	1.8076E1
42		☐	MOGA2	0.0000E0	0.0000E0	0.0000E0	0.0000E0	0.0000E0	1.8110E1	9.6233E-1	1.8110E1
43		☐	MOGA2	-4.0000E-3	5.0000E-3	-4.0000E-3	-3.0000E-3	-3.0000E-3	1.8361E1	9.6208E-1	1.8361E1
44		☐	MOGA2	-3.0000E-3	1.0000E-3	-2.0000E-3	1.0000E-3	-2.0000E-3	1.8258E1	9.6221E-1	1.8258E1
45		☐	MOGA2	2.0000E-3	-2.0000E-3	0.0000E0	-2.0000E-3	-1.0000E-3	1.8201E1	9.6227E-1	1.8201E1
46		☐	MOGA2	3.0000E-3	-1.0000E-3	0.0000E0	-5.0000E-3	-2.0000E-3	1.8238E1	9.6221E-1	1.8238E1
47		☐	MOGA2	1.0000E-3	2.0000E-3	2.0000E-3	-1.0000E-3	1.0000E-3	1.7939E1	9.6245E-1	1.7939E1
48		☐	MOGA2	-1.0000E-3	0.0000E0	-1.0000E-3	3.0000E-3	0.0000E0	1.8089E1	9.6233E-1	1.8089E1
49		☐	MOGA2	0.0000E0	0.0000E0	0.0000E0	-5.0000E-3	2.0000E-3	1.8209E1	9.6227E-1	1.8209E1
50		☐	MOGA2	-5.0000E-3	1.0000E-3	0.0000E0	-5.0000E-3	-2.0000E-3	1.8435E1	9.6202E-1	1.8435E1
51		☐	MOGA2	-4.0000E-3	1.0000E-3	-3.0000E-3	1.0000E-3	-2.0000E-3	1.8315E1	9.6215E-1	1.8315E1
52		☐	MOGA2	1.0000E-3	-1.0000E-3	-1.0000E-3	-2.0000E-3	-1.0000E-3	1.8222E1	9.6221E-1	1.8222E1
53		☐	MOGA2	5.0000E-3	-1.0000E-3	-1.0000E-3	-4.0000E-3	-2.0000E-3	1.8186E1	9.6227E-1	1.8186E1
54		☐	MOGA2	1.0000E-3	2.0000E-3	2.0000E-3	-1.0000E-3	-2.0000E-3	1.8016E1	9.6239E-1	1.8016E1
55		☐	MOGA2	-4.0000E-3	4.0000E-3	-4.0000E-3	-4.0000E-3	-4.0000E-3	1.8453E1	9.6202E-1	1.8453E1
56		☐	MOGA2	-5.0000E-3	1.0000E-3	-5.0000E-3	-3.0000E-3	-2.0000E-3	1.8525E1	9.6198E-1	1.8525E1
57		☐	MOGA2	-3.0000E-3	1.0000E-3	-2.0000E-3	-5.0000E-3	-2.0000E-3	1.8438E1	9.6202E-1	1.8438E1
58		☐	MOGA2	-1.0000E-3	-1.0000E-3	-1.0000E-3	-2.0000E-3	-1.0000E-3	1.8277E1	9.6215E-1	1.8277E1
59		☐	MOGA2	-3.0000E-3	1.0000E-3	-2.0000E-3	-5.0000E-3	-2.0000E-3	1.8438E1	9.6202E-1	1.8438E1
60		☐	MOGA2	1.0000E-3	2.0000E-3	2.0000E-3	-1.0000E-3	-2.0000E-3	1.8016E1	9.6239E-1	1.8016E1
61		☐	MOGA2	1.0000E-3	3.0000E-3	0.0000E0	-2.0000E-3	-1.0000E-3	1.8062E1	9.6233E-1	1.8062E1
62		☒	MOGA2	-3.0000E-3	-5.0000E-3	-3.0000E-3	-3.0000E-3	-3.0000E-3	1.8620E1	9.6190E-1	1.8620E1

图 8 优化结果表格图

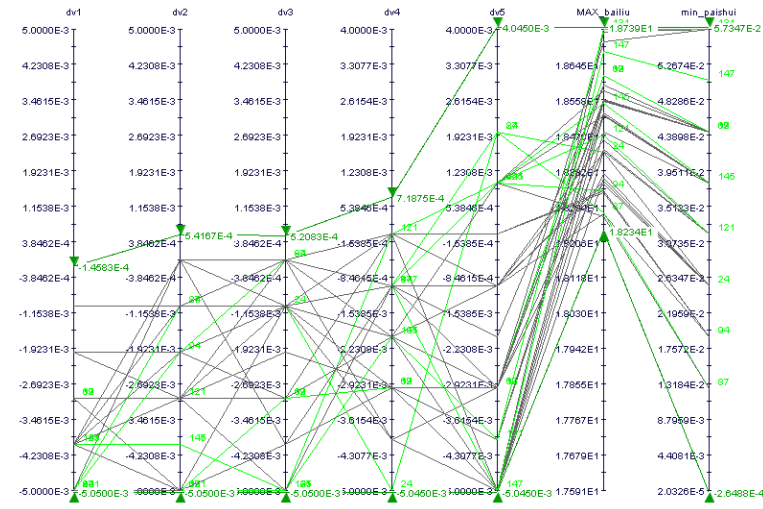


图 9 优化结果并行折线图

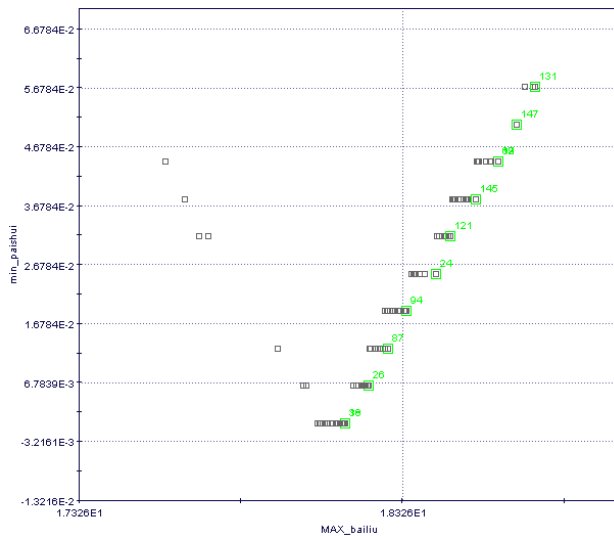


图 10 优化变量与目标函数变化曲线图

表 1 优化目标函数结果

CASE	DV1 (m)	DV2 (m)	DV3 (m)	DV4 (m)	DV5 (m)	伴流 (kg/s)	伴流量变化 (%)	排水量 (m ³)	排水量变化 (%)	阻力 (N)
初始设计	0	0	0	0	0	18.110	0	0.96232	0	17.528
CASE131	-0.005	-0.005	-0.005	-0.002	-0.004	18.733	3.44	0.96178	0.057	17.526
CASE24	-0.005	-0.001	-0.001	-0.005	0.002	18.429	1.76	0.96208	0.025	17.529
CASE38	-0.001	0	0	0	0	18.146	0.20	0.96233	0.00002	17.525

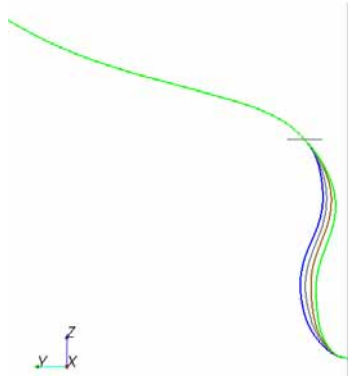


图 11a 控制形线优化结果(由左到右分别为原始、case24、case38、case131 型线)

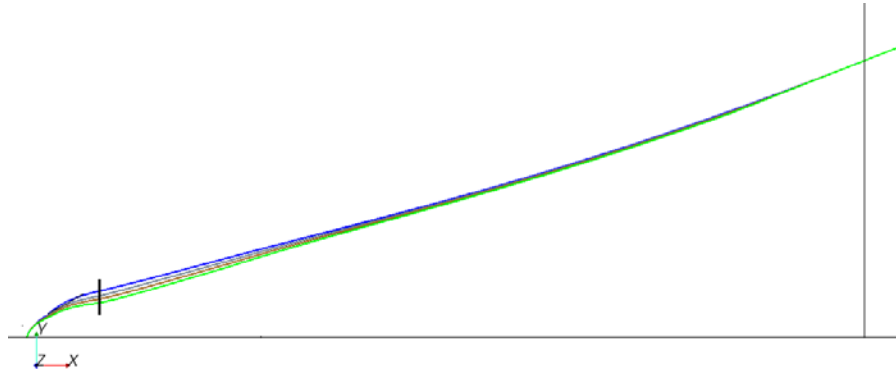


图 11b Z=0.05m 船体水线优化结果(由外而里分别为原始、case24、case38、case131 型线)

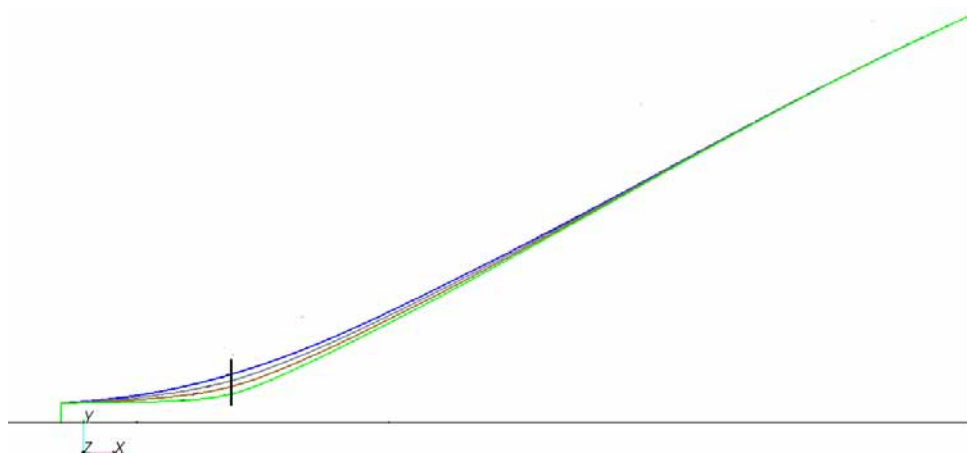


图 11c Z=0.125m 船体水线优化结果(由外而里分别为原始、case24、case38、case131 型线)

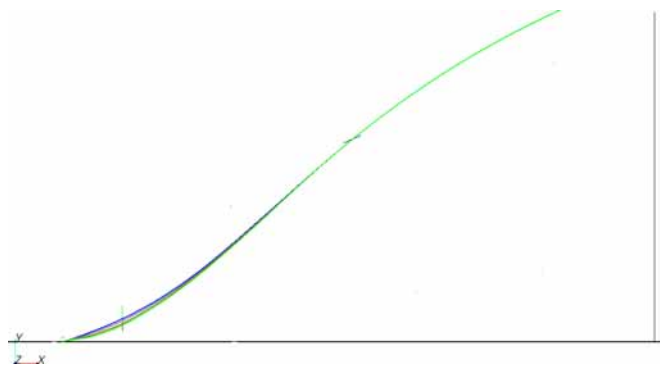


图 11d $Z=0.2\text{m}$ 船体水线优化结果(由外而里分别为原始、case24、case38、case131 型线)

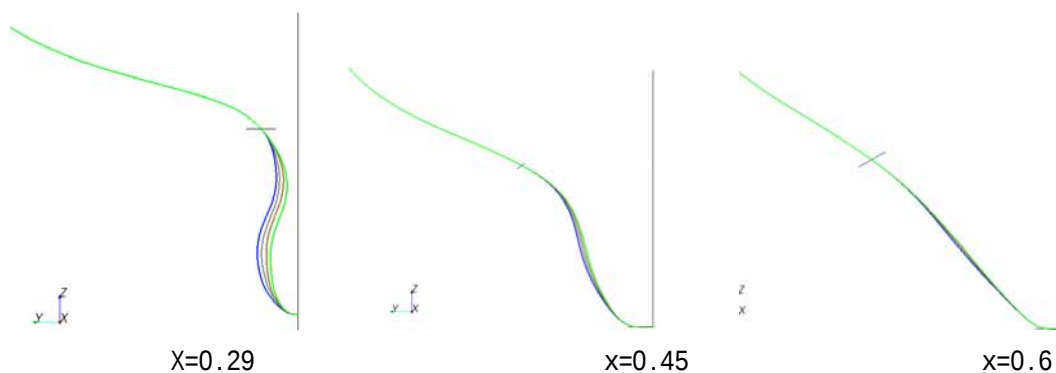


图 11e 船体不同纵向位置优化结果(由外而里分别为原始、case24、case38、case131 型线)

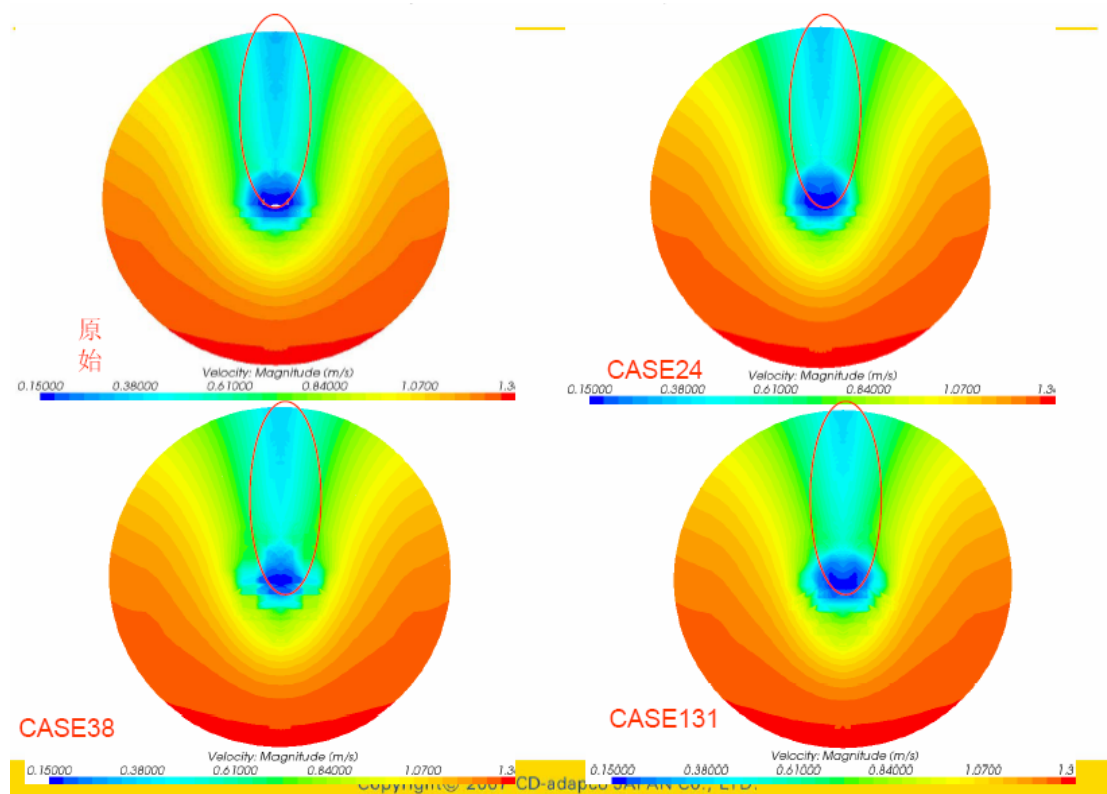


图 12a 不同方案螺旋桨盘面处伴流分布云图

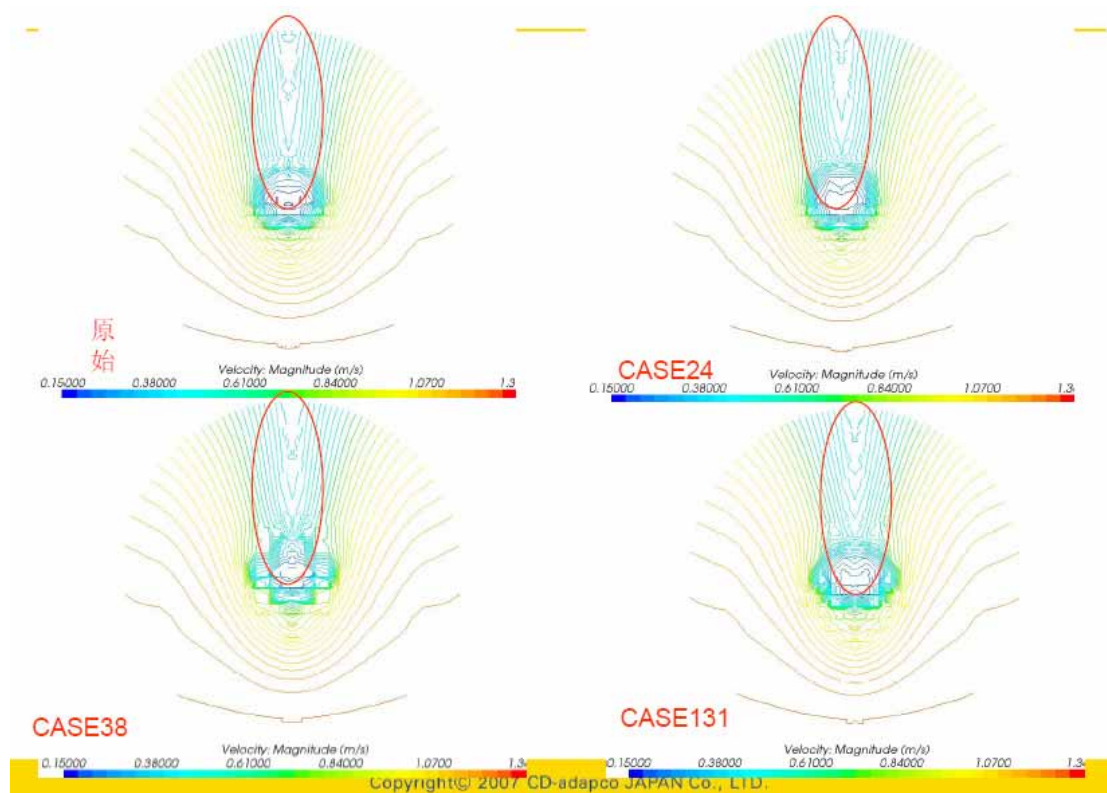


图 12b 不同方案螺旋桨盘面处伴流分布等值线图

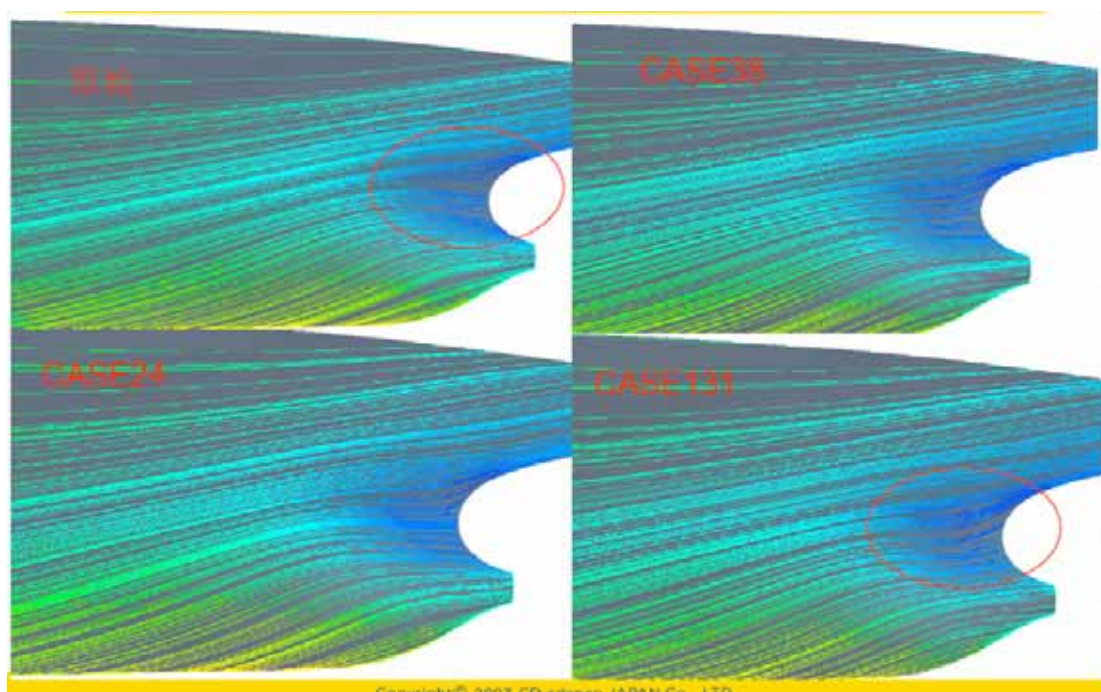


图 12c 不同方案船体尾部流线

4 结论

通过 STARCCM+、ModelFrontier、Dep Morpher、ICEMCFD 软件，对船体尾部线型优化设计给出了切实的提示信息，其中还包括，可以得到不同部位（控制点）变形对各优化目标的影响程度，可见，借助这些相关软件，能形成工程设计的优化能力，相关软件都为 CDAJ 代理的产品，这样可以为客户更好的提供技术服务及支持；本工作借助专业人士的经验，选定关键敏感部位，能以较少的控制变量，有限的机时，在计及流体粘性影响下，取得期望的成果。

5 参考文献：

- [1] USERS MANUAL OF STARCCM+
- [2] USERS MANUAL OF ModelFrontier
- [3] USERS MANUAL OF Dep Morpher