

# The Impact of Longitudinal Position of the Center of Buoyancy on Wave Resistance of an Icebreaker

Yingnan Fu, Ningning Qu, Dongjiang Zhang, Wei Zhang

Marine Design & Research Institute of China, Shanghai  
Email: fyn\_zju@163.com

Received: Apr. 6<sup>th</sup>, 2020; accepted: Apr. 21<sup>st</sup>, 2020; published: Apr. 28<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

A semi-parameterized modeling method is used based on parent ship of an Icebreaker. The method of Lackenby shift in FRIENDSHIP-Framework system is applied to reform the forward part of the ship. Keep the displacement of the ship unchanged. The wave resistance is discussed versus the longitudinal position of the center of buoyancy. A figure of the variation of the wave resistance coefficient versus the position of the buoyancy is displayed. The optimal longitudinal position of the center of buoyancy is investigated to make the wave resistance lowest.

## Keywords

Parameterized Modeling, Lackenby, Wave Resistance

---

# 浮心纵向位置对某破冰调查船兴波阻力的影响

付英男, 曲宁宁, 张东江, 张 伟

中国船舶及海洋工程设计研究院, 上海  
Email: fyn\_zju@163.com

收稿日期: 2020年4月6日; 录用日期: 2020年4月21日; 发布日期: 2020年4月28日

---

## 摘 要

本文采用基于母型船的方法对某破冰调查船进行半参数化建模, 并利用FRIENDSHIP-Framework系统中

的Lackenby变换方法, 对该船前部进行参数化变形, 以排水量为限制条件, 探讨浮心纵向位置与兴波阻力之间的变化规律。较为直观地给出了该船兴波阻力系数相对浮心纵向位置的变化规律曲线, 发现存在一个最优纵向浮心位置, 使得兴波阻力最小。

## 关键词

参数化建模, Lackenby, 兴波阻力

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 前言

在当今能源危机和经济危机的状况下, 船东们迫切希望对现有船型进行优化来改善船舶阻力性能, 降低日常的营运成本[1]。在船体线型优化的领域, CFD 手段的应用已经越来越广泛, 多采用势流理论与经验公式相结合的方法, 既节省了人力物力, 同时又对优化过程中各参数之于阻力性能的影响有了更为深刻的理解和认识。而基于母型船的参数化方法[2]则是目前较为先进的方法之一, 通过应变能最小原理生成满足诸如面积、形心、曲线的起点或终点的坐标、斜率、曲率等特定几何要求的、光顺的特征曲线, 进而基于 NURBS 理论, 利用蒙皮方法生成光顺的船型曲面。船型参数间的耦合对船舶阻力性能的影响非常复杂[3], 寻找合适的优化参数将能够快速得到较优的方案, 提高设计效率。其中, 浮心纵向位置作为重要的考量船型参数, 决定了船体艏部的肥瘦程度, 从而对兴波阻力产生较大的影响。Lackenby 变换方法是船型优化中较为常用的一种方法, 能够实现对于船体浮心纵向位置的变换, 并且使设计船较好地保留母型船一些优秀的特征, 从而得到性能较优的新船型。

本文即是在对现有母型船进行半参数化建模的基础上, 利用 FRIENDSHIP-Framework 系统中 Lackenby 变换方法, 并应用势流理论, 探讨某艏部轮廓较为特殊的破冰调查船浮心纵向位置与兴波阻力的关系。较为直观地给出该船兴波阻力系数相对浮心纵向位置的变化规律曲线, 发现此船型存在一个最佳的浮心纵向位置使得兴波阻力系数最优, 为该船型的设计提供可以参考的技术手段和方法。

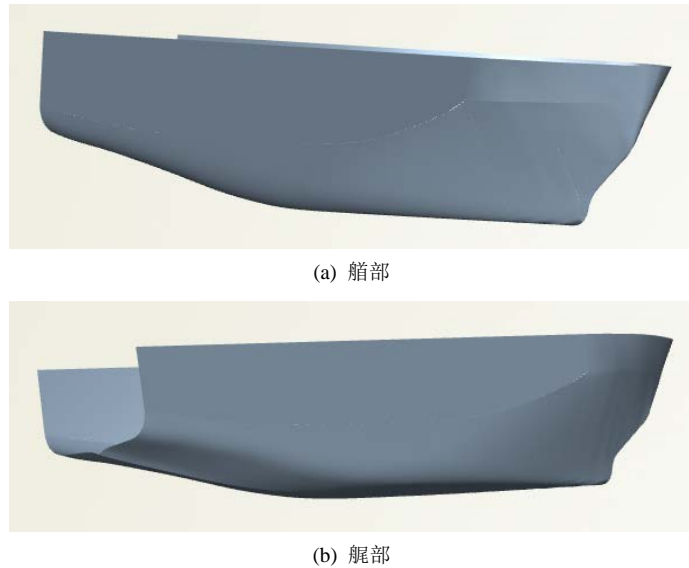
## 2. Lackenby 变换法

Lackenby 变换方法[4]是由 Lackenby H 于 1950 年提出的, 它是基于母型船的横剖面面积曲线 (Sectional Area Curve, SAC 曲线) 基础上的船型变换, 通过形变函数 ( $\Delta X = C(1-X)(X+D)$ ) 的表达, 使母型船变换工作有了更进一步的拓展。通过给定设计船需要变化的船型参数 (棱形系数  $C_p$ , 浮心纵向位置  $X_{cb}$  等), 应用形变函数对母型船进行插值计算, 得到设计船的 SAC 曲线, 进而得到满足设计条件的设计船。变换函数在船体的前部和后部均可应用, 亦可控制平行中体长度以及进流段、去流段的棱形系数来达到设计要求。通俗地讲, 该方法可以在给定  $C_p$ 、 $X_{cb}$  等参数的情况下, 通过改变排水量沿船长方向的分布状态, 较好地计算产生出新的船型, 改变原有船型的阻力性能, 具有较高的实用性和实践性[5]。

## 3. 数值模拟工况及目标

选取某艏部轮廓较为特殊的破冰调查船作为研究对象, 模型如图 1 所示, 船型有关参数如表 1 所示。数值模拟工况: 温度为 20℃, 淡水, 傅氏数为 0.1947。优化目标: 在设计吃水, 服务航速下, 尽可能地

减小兴波阻力。



**Figure 1.** The sketch of the ship  
**图 1.** 船体模型示意图

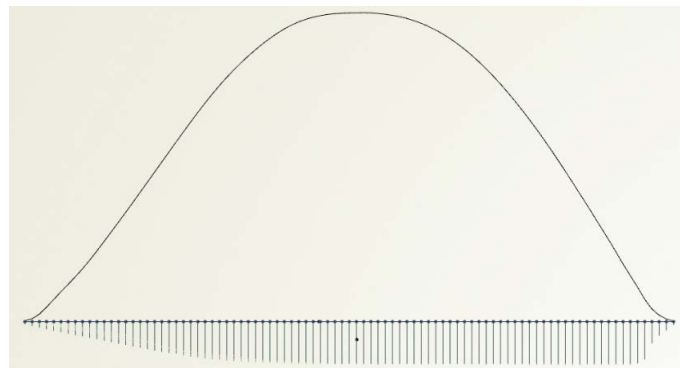
**Table 1.** Parameters of the ship  
**表 1.** 相关船型参数

参数	数值
设计水线长 $L_{wl}$ (m)	86.08
艏、艉设计吃水 $T_f/T_a$ (m)	5.65
型宽 $B$ (m)	17.6

## 4. 计算过程

### 4.1. 原型方案

首先,应用 FRIENDSHIP-Framework 软件[6] [7]进行静水力计算,得到设计吃水下船体的 SAC 曲线,如图 2 所示。



**Figure 2.** The SAC curve of original type  
**图 2.** 原型 SAC 曲线

## 4.2. 网格收敛性分析

在 CFD 数值模拟中, 网格的收敛性分析必不可少[8] [9] [10]。分别采用粗网格、中网格和细网格对原型的兴波阻力系数进行计算, 计算结果如表 2 所示。由于粗网格尺度较大, 计算结果与中网格和细网格的计算结果相差较为明显, 而中网格和细网格的计算误差较小。综合考虑计算效率与精度, 对改型方案均采用中网格进行计算。

**Table 2.** Comparison of wave resistance coefficient with different mesh scale

**表 2.** 不同网格尺度下兴波阻力系数对比

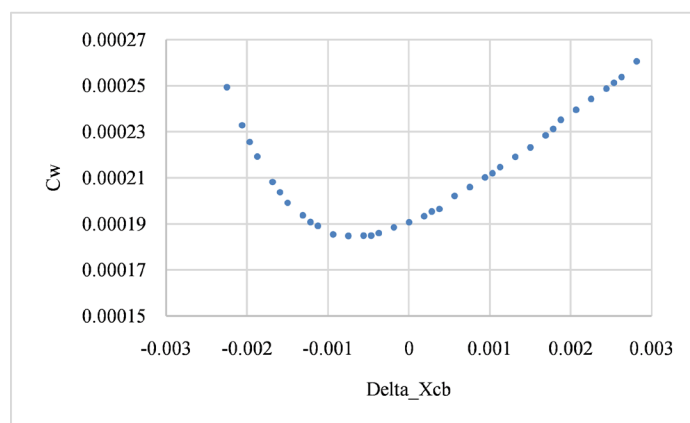
网格尺度	$C_w \times 10^3$
粗网格	0.1062
中网格	0.1912
细网格	0.1949

## 4.3. 改型方案

在得到原型的 SAC 曲线之后, 应用 FRIENDSHIP-Framework 系统中的 Lackenby 变化方法, 对该船的前部进行调整, 使后部线型基本不变, 来确保兴波阻力为此次优化的主要目标。为保证 SAC 曲线能够平顺变化, 对曲线变化段两端的切角进行限制, 从而保证新的船体线型能够平顺过渡, 提高生成的船体表面的质量。本次改型限制  $C_p$  不变, 从而保证船型在变化前后排水量和湿表面积基本不变,  $X_{cb}$  的变化范围为  $\pm 0.3\% L_{pp}$ 。以兴波阻力优化为目标, 采用 Sobol 算法对 40 个改型方案进行优化计算。

## 4.4. 结果分析

图 3 给出了兴波阻力系数与  $X_{cb}$  之间的变化规律曲线, 可以看出  $X_{cb}$  略微向后移动会改善此船的兴波阻力性能, 且此变化范围存在一个临界值, 超过此临界值继续后移则会对兴波产生不利影响, 可能会导致前肩波影响不利。图 4 给出了静水力计算得出的最优 SAC 曲线与原型 SAC 曲线的对比, 可看出优化后的船型水线面进水角减小, 船体进流段变得尖瘦。新的 SAC 曲线变化平顺, 再次说明了 Lackenby 变化方法的可靠性。图 5 给出了优化前后波形的对比情况, 可看出优化后的船型艏部纵波与艉部横波均



**Figure 3.** The variation of wave resistance coefficient versus Delta\_Xcb

**图 3.** 兴波阻力系数相对浮心纵向位置变化趋势

有较大改善,说明船体前部变瘦之后产生的艏部波系与艉部波系产生了有利的干扰。图 6 中的优化前后波切高度对比图亦可看出船体前部产生的波峰和波谷在定量幅值上均有所降低,且后部波形相位与幅值均有所改变,带来了有利的影响。图 7 给出了优化前后的线型对比,从纵剖线图可看出优化后的线型 S 型更加明显,对耐波性同样会带来较好的收益。

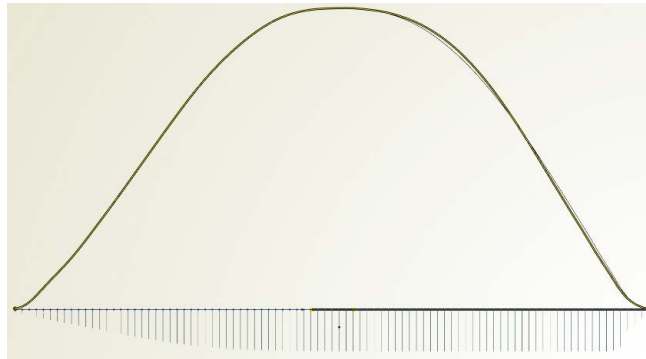


Figure 4. The SAC curve of the optimized type

图 4. 优化后的 SAC 曲线

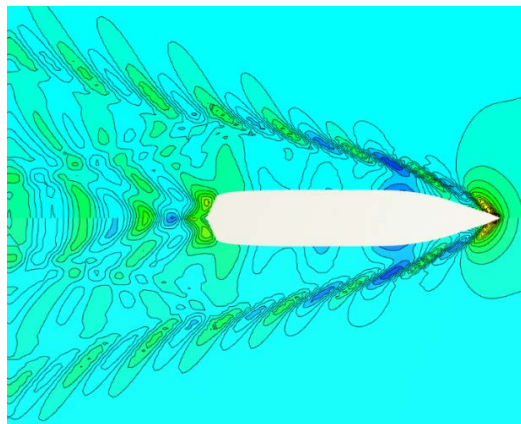


Figure 5. The comparison of the wave pattern (up: opt, down: ori)

图 5. 优化前后波形对比(上: opt, 下: ori)

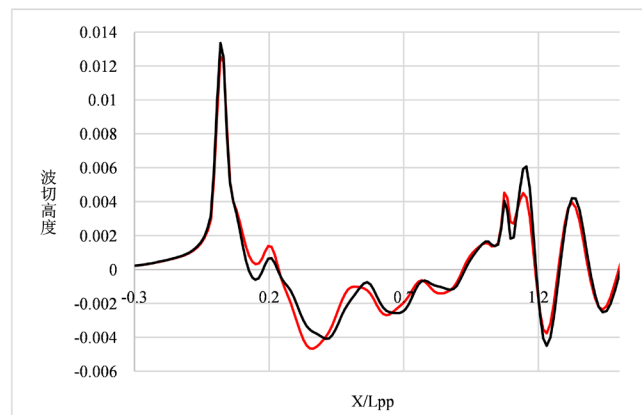
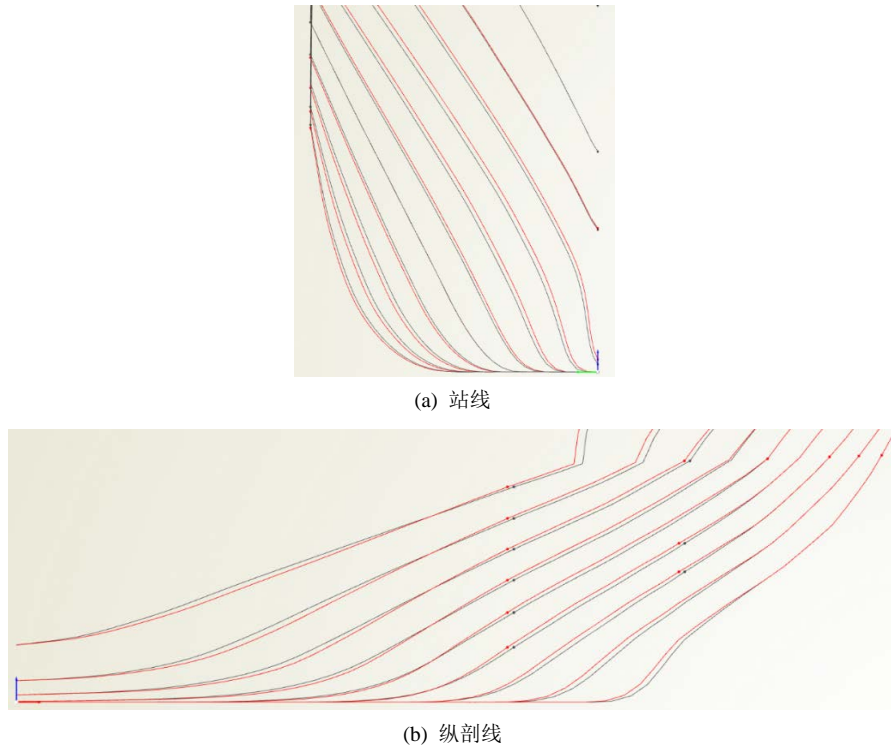


Figure 6. The comparison of the wave cut (red: opt, black: ori)

图 6. 优化前后波切高度对比(红色: opt, 黑色: ori)



**Figure 7.** The comparison of the shiplines (red: opt, black: ori)  
**图 7.** 优化前后船体线型对比(红色: opt, 黑色: ori)

## 5. 结论

本文选取某艏部轮廓较为特殊的破冰调查船为研究对象, 首先选取三种尺度网格对原型的兴波阻力进行计算, 来验证网格的收敛性。然后应用 FRIENDSHIP-Framework 系统中的 Lackenby 变换方法对母型船进行变化, 利用势流理论, 选取中网格对改型方案进行计算, 探讨  $X_{cb}$  的变化对兴波阻力的影响。

- (1) Lackenby 变化方法对于此种艏部较为特殊的破冰船适用性强, 变化后的新船体曲面光顺程度高;
  - (2) 优化过程中, 发现此种破冰船存在临界浮心纵向位置, 使得在设计吃水、服务航速下兴波阻力最小;
  - (3) 浮心纵向位置得到优化后的船体, 水线面进水角变小, 艏部变得更加尖瘦;
  - (4) 优化后的船体艏部纵波和艉部横波都有较大的改善, 艏部产生的波峰和波谷在幅值上均有降低;
- 综上所述, Lackenby 变化方法对于此种破冰船具有较强的适用性, 可以通过改种方法探讨此类船型浮心纵向位置对于船舶快速性能的影响。

## 参考文献

- [1] 童骏. 基于 CFD 的船型优化及节能附体研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2015.
- [2] 张萍, 冷文浩, 朱德祥, 耿汝年, 金建海. 一种新的船体型线自动光顺方法[J]. 船舶力学, 2008, 12(6): 880-885.
- [3] 陈文战, 陈伟, 杨向晖, 邱辽原. 最小阻力的参数化船型优化研究[J]. 中国舰船研究, 2013, 8(2): 28-33.
- [4] Lackenby, H. (1950) On the Systematic Geometrical Variation of Ship Forms. *RINA-Transaction*, **92**, 289-315.
- [5] 黄金锋. 利用改进的 Lackenby 进行船型变换与优化[J]. 船舶工程, 2012, 41(4): 54-57.
- [6] Abt, C. and Harries, S. (2007) FRIENDSHIP Framework-Integrating Ship-Design Modeling, Simulation, and Optimization. *The Naval Architect*, RINA, 36-37.

- 
- [7] Abt, C. and Harries, S. (2007) A New Approach to Integration of CAD and CFD for Naval Architects. *6th International Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries (COMPIT2007)*, 2 April 2007, Cortona, 470-473.
- [8] 赵西增, 付英男, 张大可. 柱体绕流的 CIP 方法模拟[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2016, 37(3): 297-305.
- [9] 赵西增, 付英男, 张大可, 程都. 紧致插值曲线方法在流向强迫振荡圆柱绕流中的应用[J]. 力学学报, 2015, 47(3): 441-450.
- [10] Fu, Y.N., Zhao, X.Z., Cao, F.F., Zhang, D.K., Cheng, D. and Li, L. (2017) Numerical Simulation of Viscous Flow past an Oscillating Square Cylinder Using a CIP-Based Model. *Journal of Hydrodynamics*, **29** 96-108.  
[https://doi.org/10.1016/S1001-6058\(16\)60721-7](https://doi.org/10.1016/S1001-6058(16)60721-7)