

基于数值计算的船舶阻力预报研究

朱达新

(江苏省江阴中等专业学校, 江苏 江阴 214400)

摘要: 航速指标与船舶线型有关, 对此可通过数值计算方法来预估船舶阻力。该方法是利用 NAPA 软件进行三维建模, 并导入到数值计算软件 STAR-CCM+ 中, 计算在不同航速下的船舶阻力与波形, 从而优化船舶的阻力性能, 为保证船舶的总体性能提供技术依据。

关键词: STAR-CCM+ 软件; 拖拽池; 模型; 阻力; 网格

中图分类号: U664 **文献标识码:** A

引言

航速指标的优劣与船舶的线型有关。为了获得优质的线型, 一般通过船模试验来进一步验证, 并在模型的基础上进行修改和优化。由于船模的曲面复杂, 制作周期长, 造价昂贵, 船模试验不能快速预报船体性能。随着计算机技术与计算流体力学的不断发展, 通过数值计算方法来预报船舶阻力已在工程中得到广泛的应用。相对于船模试验, 数值计算方法具有成本低、周期短、适应性强等特点。本文以 19800 吨级化学品船项目为例, 应用数值计算软件 STAR-CCM+ 进行数值模拟, 目的是能使 19800 吨级化学品船的性能达到同类型船中的最佳水平。

1 数值计算软件的选择

船舶阻力预估数值计算, 一般是应用计算流体力学的理论与方法, 利用具有超强性能的计算机编制程序, 通过数值计算方法求解满足不同种类流体运动规律的三大守恒定律及附加模型方程组成的方程组, 求得在确定边界条件下的数值解。其基本思想就是通过划分网格把原来的空间域及时间域上连续的物理量的场, 用一系列有限个离散点上的变量值的集合来代替, 通过一定的原则和方式建立关于这些离散点的场变量之间的关系方程, 然后通过求解方程组获得变量的近似值。

本文运用数值计算软件 STAR-CCM+ 进行

数值模拟。STAR-CCM+ 是目前国际上应用较为广泛的计算流体力学软件之一。它提供的切割体网格与棱柱层网格生成器, 能对船舶航行引起的兴波进行有效的处理。

采用 STAR-CCM+ 数值计算软件进行船舶阻力预报的具体流程如下: 用 NAPA 建立 (优化) 船体模型, 导入 NAPA 并导入 STAR-CCM+, 模型修复并划分网格, 建立控制方程, 确定初始条件与边界条件, 建立离散方程, 根据离散初始条件与边界条件, 给定求解控制参数, 收敛后输出计算结果。

根据 16500 吨化学品船线型与船模试验数据, 利用船舶总体软件 NAPA 建模, 采用数值计算软件 STAR-CCM+ 来进行阻力计算, 并与船模试验进行对比, 保证数值计算的准确性, 验证模型的有效性, 从而为最终通过数值计算软件 STAR-CCM+ 来预报 19800 吨级化学品船的优化线型, 以保证船舶的总体性能提供科学依据。

2 研究对象与计算模型

2.1 船舶三维模型的建立

船体建筑通过船体线型图与型值表利用 NAPA 软件进行建模, 并应用此软件进行线型初步光顺, 得到船体模型如图 1 所示。图中沿 X 方向表示船长, 沿 Y 方向表示船宽, 沿 Z 方向表示吃水。

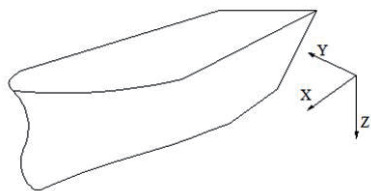


图 1 船体模型

2.2 计算域与网格划分

为了预测船舶阻力，需围绕船体创建拖拽试验池，即船体的拖拽计算域。围绕船体创建一个流场形状的几何体（其中进流部分为船长的 1 倍，去流段要考虑波流的影响为船长的 2 倍，船侧为船长的 1 倍，水深为船长的 2 倍），然后从几何体中减去船体生成的体积即成为一个包含船的连续且封闭的虚拟拖拽池。为计算需要，在划线网格时局部加密，在船体附近的计算域采用较密的网格，外围流域采用较为稀疏的网格。这样既控制了网格的数量，又保证了计算精度与计算效率。需要特别注意的是，需要加密水线处、艏部、艉部等波浪变化位置的网格。

2.3 控制方程及边界条件

利用数值计算软件 STAR-CCM+ 处理船舶运动，在时间上选择隐式非定常，材料选取欧拉多相（空气与水的组合），多相模型组合选取流体域体积（VOF），粘滞选取湍流，雷诺平均湍流选取 K-Epsilon 湍流，选取重力、单元质量与 VOF 波。

对应的边界条件，设定迎流端、船上方、下方为速度进口，给定均匀的来流的速度分量；船尾边界给定压力出口（pressure outlet）；船的两侧则使用 Sym 边界对称。

3 数值计算结果分析与船舶阻力预报

3.1 数值计算结果分析

通过采用以上方法，计算 16500 吨化学品船在不同航速下的阻力，并与船模试验数据的阻力进行对比分析，如表 1。

表 1 16500 吨化学品船数值计算阻力与船模阻力对比

Vs(Kn)	Rtm(N)	船模阻力 (N)	误差
11.0	22.8	22.45	2.20%
12.0	27.0	26.41	2.23%
13.0	31.6	30.80	2.60%
14.0	36.2	35.64	1.51%
15.0	41.8	41.38	0.92%

在该设置下，从表 1 可以得出，数值计算总阻力值与船模水池试验报告相比，误差在 0.92%~

2.60% 之间，误差较小，属于工程误差。说明数值计算软件（STAR-CCM+）结果可靠，可用于阻力预报计算的评估。

3.2 船舶阻力预报

19800 吨级化学品船，其主要船体参数如表 2 所示。

表 2 19800 吨级化学品船船体参数

二柱间长	LPP	m	149.00
水线间长	LWL	m	149.00
型宽	B	m	23.60
吃水	T	m	8.20
排水量	V	m ³	22491.8

其主要尺度与 16500 吨化学品船相近，可以采用同尺度比进行缩放，并进行相同的网格、边界条件设置，用控制方程来设置相应的参数后得到模型，最终算出在模型尺度下的数值计算结果，如表 3 所示。

表 3 数值计算 19800 吨化学品船总阻力

Vs(Kn)	Fr	Vm(m/s)	CFD-Rt	Rtm(N)
12.0	0.16146	1.2371	11.32	22.64
13.0	0.17491	1.3401	13.57	27.14
13.5	0.18164	1.3917	14.88	29.76
14.0	0.18837	1.4432	16.36	32.72
15.0	0.20182	1.5463	19.50	39.00

计算出残差监测曲线、阻力收敛曲线值，分析兴波模拟图、船体压力图，得到的计算时间与阻力收敛性较好，符合工程计算的实际情况，并结合 16500 吨船的数值计算与船模试验对比结果，表明其结果相对准确。

由于计算是在模型尺度下进行数值模拟计算，需要根据 ITTC 的方法由模型尺度转换到实船尺度。转换方法主要是二因次法或三因次法。本文采用三因次法对船舶阻力进行转换。三因次法认为粘压阻力 C_{pv} 与摩擦阻力系数 C_f 之比为一常数 k ， $1+k=C_v/C_f$ 。根据 16500 吨化学品船船模水池试验结果，并根据 ITTC 的推荐方法，可以得出计算的 k 值。参考表 4、图 2。

表 4 船模阻力换算

Vs (kn)	Fr	Vm (m/s)	CFD-Rt	Rtm (N)	Ctm (E-3)	Rnm (E6)	Cfm (E-3)
12.0	0.2	1.23	11.3	22.6	3.70	6.81	3.21
13.0	0.2	1.34	13.6	27.14	3.78	7.37	3.16
13.5	0.2	1.39	14.8	29.76	3.85	7.66	3.14
14.0	0.2	1.44	16.3	32.72	3.93	7.94	3.12
15.0	0.2	1.52	1.54	39.00	4.08	8.51	3.08

上表通过使用 ITTC 方法, 计算 19800 吨级化学品船在不同航速下的实船阻力预报。结果表明, 其航速指标达到同类型船中的最佳水平。

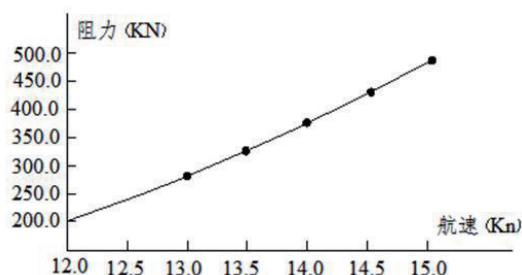


图 2 航速与阻力曲线

4 总结

本文利用数值计算方法对 19800 吨化学品船船舶阻力进行了预估。该方法不仅能方便地获取船舶阻力大小来评估船舶线型的优劣, 还能直观地观察波形来优化船体线型以满足设计要求; 解决了以往通过船模试验计算船舶阻力的试验费用高、试验时间长、不能方便地对船体线型进行优化的缺点。

参考文献:

[1] 祝启波, 曾江易. 基于 CFD 的水线面大开口船舶阻力预报 [J]. 广东造船, 2020, (05): 16-19.

- [2] 王英第, 陈彦臻, 周伟健, 等. 船体阻力数值预报研究及黏性流场计算 [J]. 舰船科学技术, 2020, (01): 17-22.
- [3] 陈锐, 黄武刚, 陈晓璐, 等. 破冰船连续破冰的冰阻力预报 [J]. 中国舰船研究, 2021, (05): 101-108+120.
- [4] 张立, 陈伟民, 吕明冬, 等. 工程船舶拖航总阻力预报方法 [J]. 上海船舶运输科学研究所学报, 2021, (02): 101-108+120.
- [5] 王楠, 周旭. 改进的 Holtrop 船舶阻力估算 [J]. 航海工程, 2019, (04): 34-37.
- [6] 任再美, 孙江龙, 杨云飞. 船舶有效功率预报方法 [J]. 舰船科学技术, 2021, (03): 141-145.
- [7] 李浅洋, 胡义程, 洪凯. 基于 VB.Net 的船舶阻力预报集成化研究 [J]. 船舶工程, 2019, (12): 58-63.
- [8] 张明霞, 赵正彬, 胡俊明, 等. 基于 STAR-CCM+ 的某渔船阻力预报与球艏参数敏感性分析 [J]. 船舶工程, 2018, 40(S1): 46-50+114.
- [9] 杨敬东, 刘永臻, 雷林. 基于 SHIPFLOW 内河船阻力预报研究 [J]. 重庆交通大学学报 (自然科学版), 2018, (07): 118-122.

Research on Ship Resistance Prediction based on Numerical Calculation

ZHU Da—xin

(Jiangyin Technical Secondary School, Jiangyin214400, China)

Abstract: The speed index is related to the ship's line type. For this purpose, the ship resistance is estimated by a numerical calculation method. The method is to use NAPA software for three-dimensional modeling and import it into the numerical calculation software STAR-CCM+ to calculate the ship resistance at different speeds. And the waveform, thereby optimizing the resistance performance of the ship, and providing a technical basis for ensuring the overall performance of the ship.

Keywords: STAR-CCM+ software; drag pool; model; resistance; grid