

隧道尾双体船性能分析研究

杨良军

(苏州市地方海事局, 江苏 苏州 215007)

摘要: 以某具备隧道尾的双体船为研究对象, 分析其航行与阻力性能特点, 开展其性能分析研究。在构建完成主船体三维模型的基础上, 选定主要的航速范围, 在 CFD 仿真软件上开展了计算域确定、边界条件设定以及计算结果分析等方面的工作。分析结果表明, 该船型的性能较为优良, 较适用于无人双体船, 该分析结果为后续的船型开发提供了有利的指导。

关键词: 双体船; 性能分析; 隧道尾

中图分类号: U661.4

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2021) 02—0121—02

1 引言

在同等吨位下, 双体船比单体船具备更大的甲板面积以及更好的稳性^[1], 适用于对于甲板布置要求较高的船型。对于吃水受限的船型, 要增大螺旋桨直径, 隧道尾是最好的选择之一^[2]。对于隧道尾船型的研究, 相关学者已经进行了广泛的研究。

在兼顾甲板面积与螺旋桨直径的情况下, 船型性能分析要求较高^[3], 主要体现在主船体曲面形状复杂, CFD 计算网格划分以及计算条件的设定均较为复杂^[4]。

2 船型介绍

本文所分析的船型为某具备隧道尾的双体船, 该船主尺度如表 1 所示。

表 1 主尺度

| 项目内容 | 数值 |
|------|-------------------|
| 船长 | 33.00m |
| 水线长 | 30.00m |
| 船宽 | 8.00m |
| 型深 | 2.80m |
| 吃水 | 1.90m |
| 片体宽 | 3.50m |
| 排水体积 | 200m ³ |

3 计算模型及计算条件

3.1 计算模型的建立

根据船体型线图和主尺度表对双体隧道尾船以 1:10 的缩尺比进行计算模型三维建模。需计算实船在 14Kn、15Kn、16Kn、17Kn、18kn 下的阻力性能, 根据傅汝德数相似对船模航速进行换算。对双体隧道尾船模型用 FINE/Marine 商业软件分别在 2.277m/s、2.440m/s、2.603m/s、2.765m/s、2.928m/s 速度下计算船模的总阻力。

计算中直接求解三维粘性不可压多相流体的雷诺平均方程, 采用 SST 湍流模型, 近壁处理使用壁面函数法。

微分方程的离散采用隐式有限体积法, 具有 2 阶空间和时间精度^[5]。

3.2 边界条件

计算域的具体设置为: 纵向从船艏向上游延伸 2 倍的船长, 从船艉向下游延伸 3 倍的船长, 侧面向外延伸 2 倍船长, 垂直向下延伸 3 倍船长, 向上延伸 1 倍船长。

入流边界、出流边界和船侧对应边界采用远场边界条件。中纵剖面所在边界采用对称边界条件。上下边界采用指定压力边界条件。船体表面的边界条件设定为固壁无滑移的条件。甲板的边界条件为滑移边界, 忽略空气粘性的影响。

对船体表面曲率变化比较大和物理量梯度变化比较大区域, 如艏部、艉部、自由液面附近的网格进行加密。

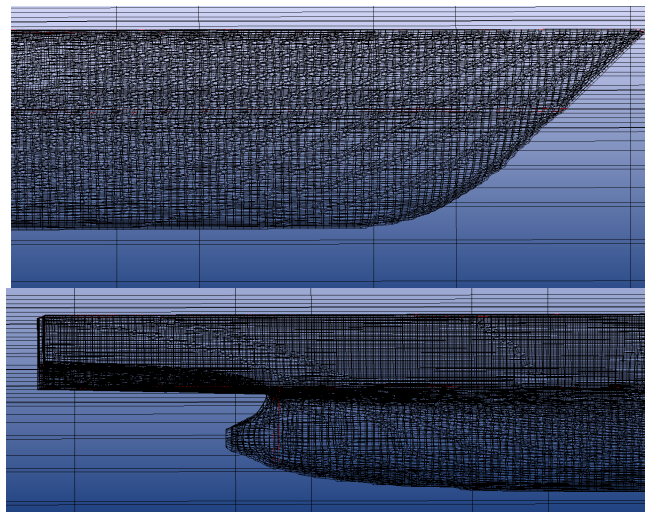


图 1 船艉部网格加密

所有计算的网格数都约为 180 万左右, 正交性不小于 21.33°, 正交性大于 72° 的网格比例大于 92%。

4 阻力性能计算

4.1 模型尺度下的总阻力计算

在入流边界上, 水流以 1/4 正弦函数的形式在 1s

内增加到给定速度。在计算收敛的时间段内取 3 个完整周期阻力的平均值作为最终船模的总阻力。计算得模型的阻力如下表。

表 2 阻力计算结果

| 船模航速 (m/s) | Rpv+Rw (N) | Rf (N) | Rt (N) |
|------------|------------|--------|--------|
| 2.277 | 77.87 | 34.56 | 112.43 |
| 2.440 | 98.96 | 37.35 | 136.32 |
| 2.603 | 112.97 | 39.70 | 152.67 |
| 2.765 | 120.35 | 43.59 | 163.94 |
| 2.928 | 123.30 | 47.20 | 170.50 |

4.2 实船尺度下的总阻力值

实船尺度下的总阻力值是根据模型计算值或者模型实验值换算得到的。目前常用的换算方法为基于傅汝德数相同的换算方法，其换算结果较为可靠，适用船型范围广泛。

船模与实船只能满足雷诺数或傅汝德数相等其中的一种，一般船模阻力计算或者船模实验时都只考虑船模和实船的傅汝德数相等的情况下进行的。为了能从船模计算或者实验结果求得实船阻力，相关技术人员提出了下列假定：

(1) 将船体总阻力人为划分两部分。第一部分为摩擦阻力 R_f ，该部分数值与雷诺数和船舶湿表面积有关；第二部分为剩余阻力 R_r ，是由粘压阻力 R_{pv} 与兴波阻力 R_w 组合而成的，该部分数值与傅汝德数和船舶湿表面积有关。上述关系的具体表达式为：

$$R_t = R_f + R_r \quad R_r = R_{pv} + R_w$$

$$R_t = f(Re, Fr) = f_1(Re) + f_2(Fr)$$

$$R_f = f_1(Re) \quad R_r = f_2(Fr)$$

(2) 船体的摩擦阻力近似与速度、长度和湿表面积相同的平板所受的摩擦阻力相等。因此，可以用平板摩擦阻力公式计算船体受到的摩擦阻力。

如果计算模型与实船的傅汝德数相等，便可将数值计算或者实验结果换算得实船在相应速度时的总阻力。在此基础上，实船的总阻力可表示为：

$$R_{ts} = R_{fs} + R_{rs} \quad (1)$$

在相应速度时，即 $V_s = V_m \sqrt{\alpha}$ ，由比较定律得：

$$R_{fs} = R_{fm} \frac{\Delta_s}{\Delta_m} \quad (2)$$

则得：

$$R_{ts} = R_{fs} + R_{rm} \frac{\Delta_s}{\Delta_m} \quad (3)$$

这里下标 m, s 分别代表船模和实船的数据。

根据上述的二因次换算方法进行换算。实船摩擦阻

力由常用的基于平板摩擦的公式计算所得，粗糙度补贴系数取 0.4。计算结果如表 3 所示。

表 3 实船摩擦阻力系数计算表

| 实船速度 | 平板摩擦阻力系数 | 粗糙度补贴系数 | 实船摩擦阻力系数 |
|------|----------------|-----------------------|-------------------|
| Kn | $C_f(10^{-3})$ | $\Delta C_f(10^{-3})$ | $C_{fs}(10^{-3})$ |
| 14 | 1.841 | 0.400 | 2.241 |
| 15 | 1.826 | 0.400 | 2.226 |
| 16 | 1.812 | 0.400 | 2.212 |
| 17 | 1.798 | 0.400 | 2.198 |
| 18 | 1.786 | 0.400 | 2.186 |

二因次换算所得计算结果如表 4 所示。

表 4 总阻力及功率计算表

| 实船速度 | 实船摩擦阻力 | 实船阻力 | 有效功率 |
|------|--------------|-----------|---------|
| Kn | $R_{fs}(kN)$ | $R_s(kN)$ | PE (kw) |
| 14 | 26.64 | 101.74 | 837.40 |
| 15 | 29.87 | 124.53 | 1089.00 |
| 16 | 33.28 | 139.69 | 1293.42 |
| 17 | 36.86 | 149.73 | 1463.41 |
| 18 | 40.61 | 155.04 | 1595.12 |

5 结论

本文的总阻力分析结果表明，该隧道尾双体船型性能优良，较适用于甲板面积要求较高的无人船型研发。后续研究需要对其性能进一步开展优化，以提高其竞争力。

参考文献：

- [1] 沈春涛. 内河浅吃水双尾船振动问题分析与对比研究 [D]. 哈尔滨工程大学, 2015.
- [2] 王广东, 戴彤宇. 隧道尾排水型快艇性能试验研究 [J]. 船舶工程, 2000(02):17-20+66.
- [3] 邓锐, 黄德波, 于雷, 程宣恺, 梁洪光. 影响双体船阻力计算的流场 CFD 因素探讨 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2011, 32(02):141-147.
- [4] 唐丰. 新型双体船和三体船阻力性能研究 [J]. 船舶, 2007(02):1-4.
- [5] 倪连超, 陈震. 多航态高速双体船阻力计算研究 [D]. 天津大学, 2005.