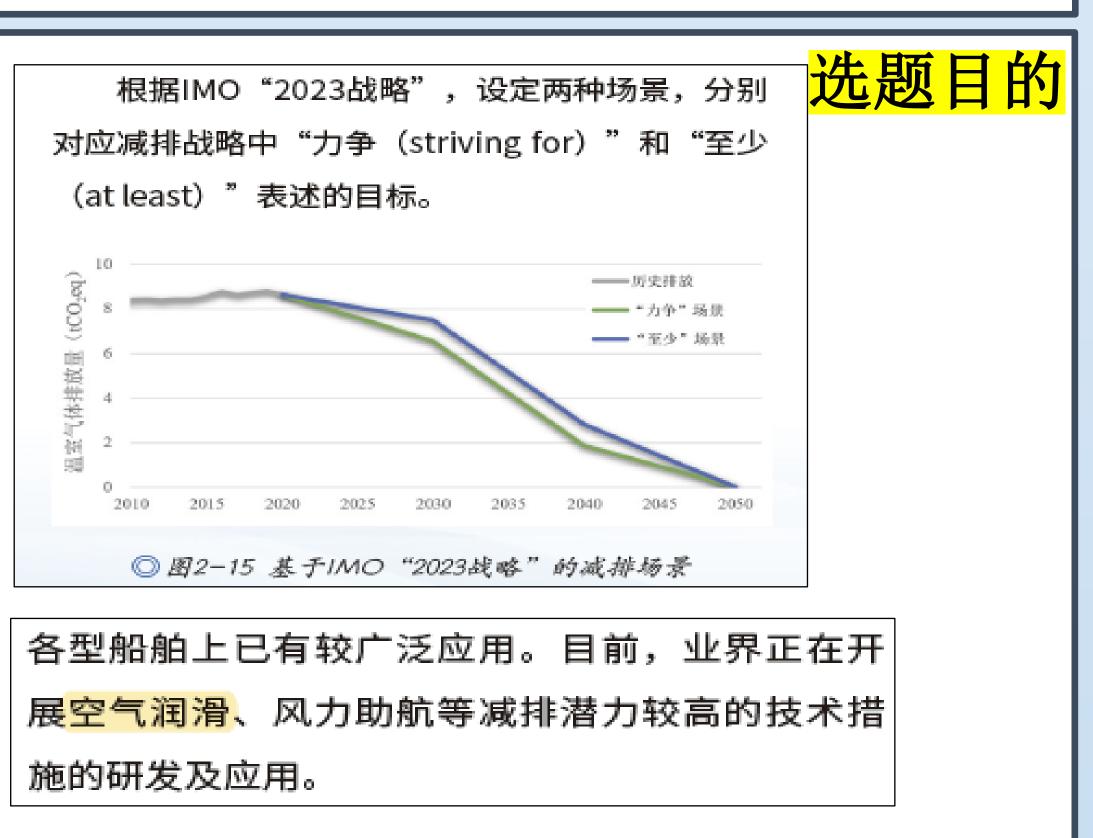
摘具

本文以船体气泡流为研究对象,使用实物模型探究船体空泡减阻的影响因素。。 分析了船体与水流相对速度、船体形状, 垂直通气孔数量、位置与空泡减阻效率的 影响。

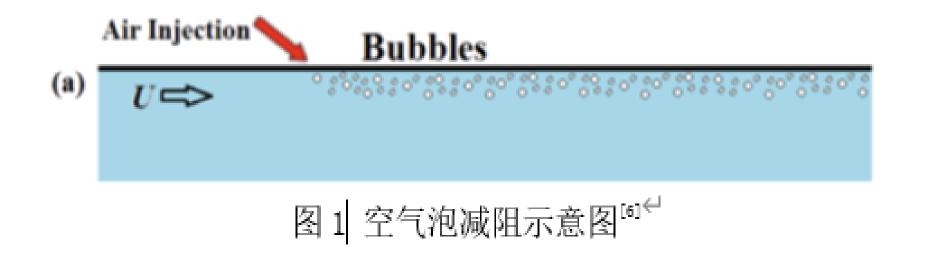
通过模型制进行实验得出数据结果,通 过Matlab对数据进行线性回归,得到了船 体与水流相对速度对空泡减阻效率的定量 关系;通过观察法结合实验数据得出垂直 通气孔数量、位置与空泡减阻效率的定性 关系。



图片来源: 航运低碳发展展望2023-2024

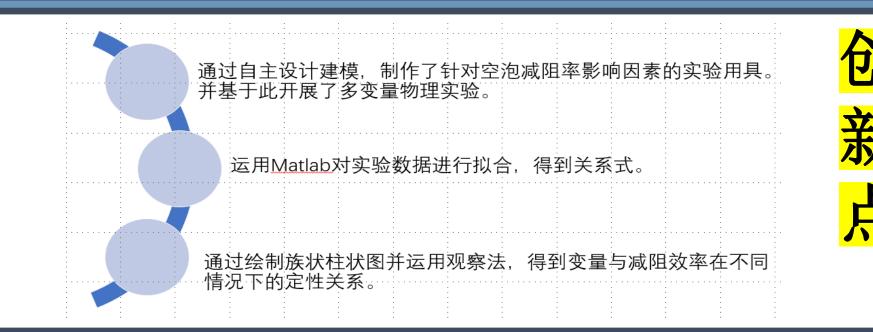
原理分析

空泡减阻的主要机理是将固/液界面转变为固/气界面,从而使黏度降低,摩擦阻力也随之大幅减小并且,气相速度梯度越小,切应力也越小. [5]



实验目的

- 1. 探究相对速度对空泡减阻效率影响
- 2. 探究出气口位置数量对空泡减阻效率影响
- 3. 探究垂直出气口大小对减阻率的影响
- 4. 探究船体形状对空泡减阻率影响



数据处理

假设在理想状态下,航行体运动方向与水流方向在同一直线上,通过合成 相 对速度,将航行体运动转换为水流运动,公式为

$$\Delta v = u - w \tag{1}$$

其中u为来流流速,w为航行体航速,单位均为m/s

根据牛顿第三定律

$$F = -F' \tag{2}$$

将航行体所受流体阻力等效为在静止状态下对航行体的拉力。

通过减阻率计算公式

$$\Delta R_f = \frac{R_{f0} - R_f}{R_{f0}} \cdot 100\%$$
 (3)

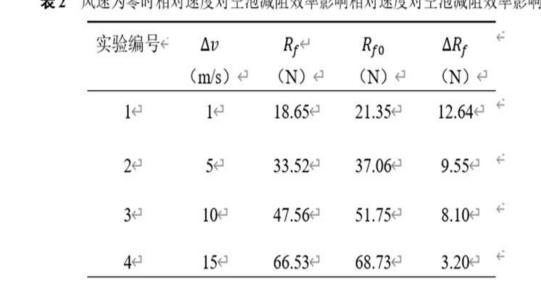
其中 R_{f0} 表示喷气前阻力, R_f 表示喷气后阻力,其在数值上均等于拉力F,单位均为N。最后通过使用Matlab利用对数据进行线性回归,得出不同影响因素与减阻率关系式。

文验准备 | Description | Descrip

数据分析

相对速度对空泡减阻效率影响

拟合后关系式如下 $\Delta R_f = -0.0088 \Delta v^3 + 0.1937 \Delta v^2 - 1.6634 \Delta v + 14.1185$



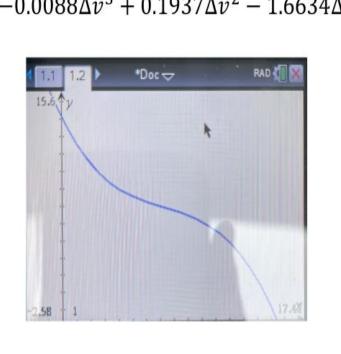
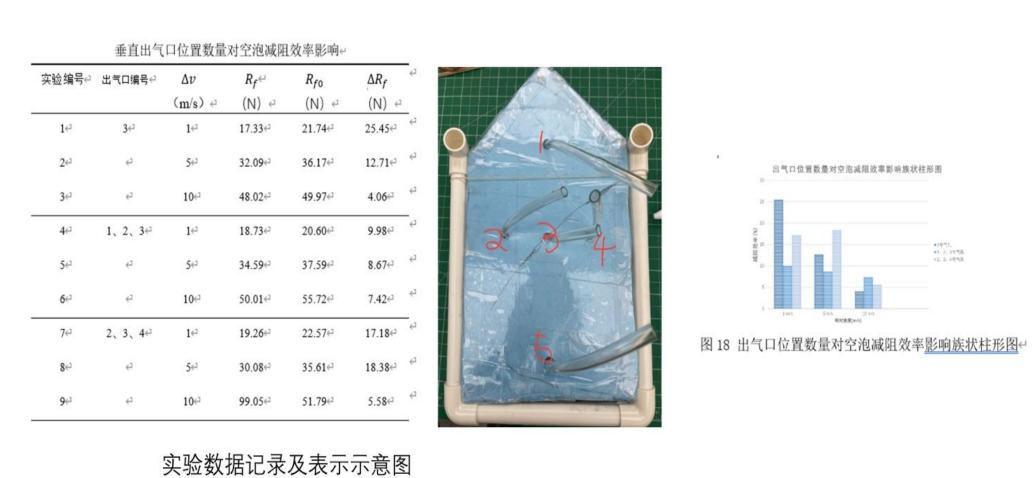


图2 拟合后关系式图像

垂直出气口位置数量对空泡减阻效率影响

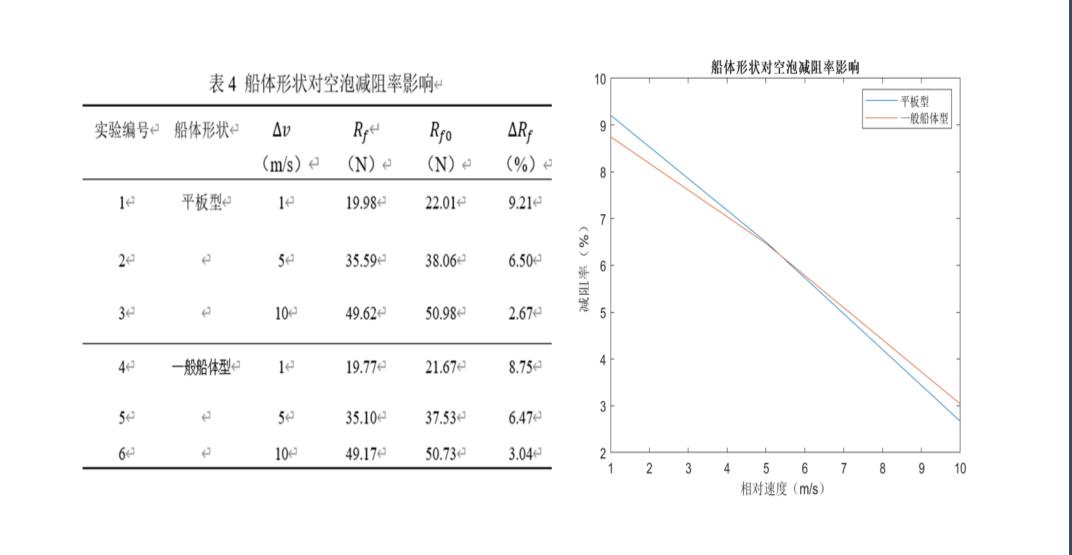


垂直出气口大小对减阻率的影响

表 3 垂直出气口大小对减阻率的影响~

						_
实验编号↩	出气口编号↩	孔径大小	R_f^{\leftarrow}	R_{f0}	ΔR_f	÷
		(mm) ←	(N) ←	(N) ←	(N) ←	_
1←	3↩	0.1←	50.44←	50.91←	0.93←	-
2←	₽	1←	52.80₽	53.72←	1.72↩	÷
3←	↩	10←	48.76↩	49.05€	0.59↩	÷
4←	1、2、3↩	0.1←	43.36←	49.78€	12.89←	-
5↩	₽	1←	46.47€	50.63←	8.21€	←
6←	↩	10←	52.86↩	53.67↩	1.51↩	÷
7←	2、3、4←	0.1↩	47.56↩	51.75↩	8.10↩	÷
8←	←7	1←	48.67←	51.79€	6.03↩	←
9↩	₽	10↩	50.36₽	51.01←	1.27↩	←
10←	小孔出气箱↩	0.1←	46.54↩	49.78←	6.50↩	÷
11←	₽	1←	46.34↩	48.07←	3.59↩	←
12↩	←7	10↩	48.34€	49.69€	2.72↩	÷

船体形状对空泡减阻率影响



误差分析

在本次研究实验中,由于场地限制,无法避免受到无法被风力计检测到的风的影响,所得出的受力可能会因此产生误差

由于气泵在使用中可能因水流波动或电 压不稳而出气不均匀,在多气孔的实验 中可能产生误差

表1 相对速度对空泡减阻效率影响相对速度对空泡减阻效率影响↔

实验编号←	Δv	$R_f \leftarrow$	R_{f0}	ΔR_f
	$(_{m/s}) \mathrel{\hookleftarrow}$	(N) ←	$(N) \leftarrow$	(%) ←
1←	1←	20.71←	9.04←	-129.09←
2←	5←	35.64↩	42.59	16.32← ←
3←	10←	95.03↩	73.14←	-29.93← ←
4←	15←	15.13←	84.30←	82.05←

实验结论

实验 1

相对速度对空泡减阻效率影响

- 空泡减阻效率与船体相对来流的速度有关,且相对速度 越大,空泡减阻效率越低,并按照以下关系式
- $\Delta R_f = -0.0088 \Delta v^3 + 0.1937 \Delta v^2 1.6634 \Delta v + 14.1185$

实验 2

垂直出气口位置数量对空泡减阻效率影响

• 在低速状态时单一垂直出气口的减阻率最高,而在高速状态下多个横向出气口的减阻率最高。

实验3

垂直出气口大小对减阻率的影响

垂直出气口较为密集时孔径大小对减阻率影响较小,当垂直出气口较为分散时,其孔径大小越小,减阻率越大。

实验~

船体形状对空泡减阻率影响

• 在该模型中,船体形状对其减阻率的影响较小。

研究结论

- 1. 横向出气口的减阻效率较为稳定,受出气口孔径(气体流速)及相对速度的影响较小;单一出气口较易受相对速度的影响。
- 2. 在相对速度较高的情况下空泡减阻无显著效果;在相对速度较低时,单一出气口效果减阻显著.
- 3. 通过出气口孔径较小的气体可以显著提高空泡减阻效率; 随孔径增加,不同气孔位置展示出不同的趋势。

展

- 1. 对不同影响因素的影响因子进行探究
- 2. 比较不同比例模型对实验结果的影响
- 3. 计算不同条件下减少碳排放的具体数值

参考文献

0.参考文献

[1] 曹伟,魏英杰,王聪,邹振祝,黄文虎.超空泡技术现状、问题与应用[J].力学进展,2006,36(4):571-579

[2]MCCORMICK M E, BHATTACHARYYA R. Drag reduction of a submersible hull by electrolysis [J] Maval Engineers Journal, 1973, 85(2):11-16

[3]汤继斌,钟诚文.空化、超空化流动的数值模拟方法研究[J].力学学报,2005,37(5):640-644 [4] 蒋最敏 高景主编: 物理选择性必修 (第三册) [M], 上海, s 上海科学技术出版社, 2023 年,第 34 页。

[5]Savchenko Y N. Super cavitation-problems and perspectives[C]. Proceedings of the 4th International Symposium on Cavitation, California, 2001:20-23.

[6]MAKIHARJU S A, CECCIO S L. Air lubrication drag reduction on great lakes ships [J].
University of Michiga

致 源

感谢创新实践工作站开展的系列科创活动,感谢学校,科学社的老师指导