

基于 staimo 软件系统的试航航速修正

黄建军, 李云军, 刘仕莲, 李辉, 孙文利, 李丽平

(中船黄埔文冲船舶有限公司, 广东 广州 511462)

摘要: 本文通过分析试航数据, 按照 ISO15016:2015 标准和 ITTC 7.5-01-01.2-2014 公约 (后面统称为规范) 试航数据分析方法, 借助 staimo 航速分析软件, 对试航航速和 EEDI 航速进行修正, 得到最终的无风、无浪、无洋流、深水域的合同环境下的船舶速度。同时结合在建船舶的试航结果, 针对试航环境对应的修正方法, 提出数据分析、系统参数设置中注意事项和应对措施, 解决试航航速手工修正中计算过程复杂、耗时长、结果难免出现错误等问题。

关键词: 航速修正; 航速; EEDI 航速; EEDI 功率; 船模试验

中图分类号: G640 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2023) 03—0087—03

试航环境跟合同约定的航速环境不同, 试航结果需经过修正^[1], 得到合同航速和 EEDI 航速^[2]。荷兰水池开发的 STAIMO 具有航速修正功能^[3], 本文阐述在公司最近试航的商船中, 应用 STAIMO 进行航速修正过程。

1 规范要求的试航环境、条件、要求

规范对试航的环境因素、船舶状态、操作要求作了明确的规定, 作为航速修正的先决条件和依据。

1.1 风力

试航时风力大小的限制跟船的两柱间长 L_{pp} 有关:

$L_{pp} \geq 100\text{m}$: 风力应不大于蒲氏六级

$L_{pp} < 100\text{m}$: 风力应不大于蒲氏五级

1.2 波浪

船长系数: $\eta = \sqrt{L_{pp}/100}$, m (1)

(1) 波高 $H_w \leq 1.5\eta$ 或 3m 时, 可以用目测法确定波高, 否则要用浪高仪测量。

(2) 若用浪高仪测量, 则要求波高 $H_w \leq 2.25\eta$ 。

(3) 理想的波高 $H_w \leq 0.5\eta$, 此时, 兴波阻力可以直接用船模试验数据, 否则, 要进行系列波谱测量。

1.3 潮流

EEDI 测速时, 一个来回周期内的流速变化应不大于 0.3 节, 否则, 需增加同一功率下的一个来回跑。

1.4 海域和水深

试航水深应大于以下两个公式计算结果中的大者:

$$h \geq 2\sqrt{B \cdot T} \text{ and } h \geq 2 \frac{V_s^2}{g} \quad (2)$$

若试航水深大于以下两者中大者, 航速不需做浅水修正:

$$h \geq 3\sqrt{B \cdot T} \text{ and } h \geq 2.75 \frac{V_s^2}{g} \quad (3)$$

式中: B 为型深, [m]; T 为船中平均吃水, [m]; V_s 为船舶航速, [m/s]; g 为重力加速度。

2 航速修正需准备的数据

2.1 船舶主尺度和主要技术参数

两柱间长 L_{pp} 、型宽 B 、型深 D 、设计吃水 T 、载重量、

螺旋桨数量、主机型号、主机 MCR 和 NCR、螺旋桨轴效率和桨轴内外径及轴材料 G-Modulus。

2.2 合同要求

航速和达到该航速时吃水、排水量、主机功率、螺旋桨转速、装载要求、sea margin、船舶状态、环境要求。

2.3 EEDI 测速要求

EEDI 速度下艏艉吃水、排水量, EEDI 功率 (75%MCR)。

2.4 船模试验数据

船模在试航、合同、EEDI 要求下测速时装载状态, 艏艉吃水、排水量, 主机功率、转速、对应速度和 ETAD 值。

2.5 实船测量数据

(1) 船舶状态: 艏艉吃水, 排水量, 水下横剖面面积, 主船体湿表面积, 附体湿表面积, 横向受风面积。

(2) 环境条件: 天气情况, 海域, 气温, 气压, 水温, 海水密度, 水深, 风速计高度, 水流流向, 流速。风速计安装高度是水线以上 10m , 否则, 风速要进行高度修正与转化。

(3) 实测数据 (每个单程): 测速开始时间、结束时间、测速距离, 主机功率、扭矩、转速、油耗, 航向, 舵角, 风速, 风向, 浪高、方向、周期, 潮涌高、方向、周期。

3 航速修正

在得到试航数据后, 需对数据进行检查和评估, 明确修正范围和内容。比对船模试验项目, 检查试航数据是否完整。

3.1 实船状态

实船尽可能接近船模试航工况, 首部吃水与船模吃水偏差在 0.1m 内; 统计实船排水量, 水下横剖面面积, 主船体和附体湿表面积, 横向受风面积, 实船排水量与船模排水量的偏差应在 2% 以内。

3.2 实船环境

海浪大于 2 级, 风力大于蒲氏 3 级时^[4], 才需航速

修正，实际操作是不管风浪流大小都修正到理想环境。
如：

实船 $L_{pp}=176.8\text{m}$ ，风速 2.8m/s ，属 2 级风；
波高 1.5m ，属 3 级浪；水深 60.3m ，规范水深
 $3*\text{SQRT}(38.6*6.7)=48.25\text{m}$ ，无需浅水修正，但风、浪、
洋流要修正到理想环境。

3.3 航速修正流程

修正过程：基础数据准备—实船测量数据收集—功
率的修正—航速的修正—得到结果，如图 1，涉及功率、
排水量、洋流、浅水及风浪流速方向角修正，水流方向、
风向角、浪高和方向要转化为跟船航向一致，正向逆风
为 0 度，风吹右舷为正，左舷为负，流向和波浪方向同理。

$$\text{排水量修正: } P_0 = P_s * \left[\frac{V_2}{V_1} \right]^{2/3} \quad (4)$$

$$\text{功率修正: } P_2 = P_0 * \eta_1 \left[\frac{V_0}{V_2} \right] - \frac{\Delta R * V_s}{\eta_2} \quad (5)$$

$$\text{风浪流阻力: } \Delta R = R_{WA} + R_{WV} + R_{AS} \quad (6)$$

$$\text{风阻力: } R_{WA} = 0.5 \rho A [C_w * \psi * V_w^2 - C_0 * V_c^2] \quad (7)$$

$$\text{航速修正: } V_s = V_c - V_c \quad (8)$$

▽1 试航排水量 m^3 ，▽2 船模排水量，P1 测速功率
 W ， η_1 传输效率， η_0 实船推进效率， η_2 船模推进效率，
 V_s 船对水速度， ρ 空气密度 kg/m^3 ，A 横向受风面积
 m^2 ， C_w 风阻力系数， C_0 正向逆风阻力系数， ψ 风向角_度，
 V_w 风速， V_c 船对地速度， V_c 水流速度 m/s 。

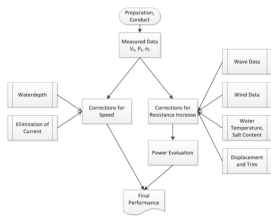


图 1 试航航速分析流程

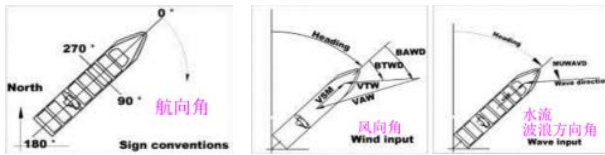


图 2 航向角和方向角

3.4 利用 STAIMO 进行修正

STAIMO 集成了规范要求及计算公式，关键要将上
述数据按如下顺序输入系统以生成分析报告，顺序错误
无法下一步：

3.4.1 系统初始化数据

垂线间长 L_{PP} ，型宽 B ，螺旋桨数量，主机
 MCR, NCR ，轴传输效率，轴内外径，轴材料 G 模数。

3.4.2 试航工况初始化数据

EEDI 测速，试航装载要求，艏吃水，艉吃水，排水量。

3.4.3 合同数据

合同航速，合同航速时主机功率、转速、装载要
求、环境条件、艏吃水、艉吃水、排水量、主机功率
 sea margin 。

3.4.4 EEDI 测速初始化数据

装载要求，艏吃水，艉吃水，排水量，EEDI 功率，

Attained EEDI 航速（用规范要求 Required EEDI 反推）。

3.4.5 船模报告数据

(1) 船模试航数据：装载，艏吃水，艉吃水，排水量，
主机过载因子，各单程主机功率、转速、ETAD 值、航速。

(2) 船模合同航速数据：装载，艏吃水，艉吃水，
排水量，主机过载因子，各单程主机功率、转速、
ETAD 值、航速。

(3) 船模 EEDI 测速数据：装载，艏吃水，艉吃水，
排水量，主机过载因子，各单程主机功率、转速、
ETAD 值、航速。

关键点：一般船模试验不耐波性和风洞试验，在船
模数据输入时，不点选这两项，否则无相关数据，系统
不运行。

3.4.6 试航实船数据

测速主机功率点必须在 65%—100%MCR 间，一般
以 65%、75%、80%、100%MCR 为测速功率，首尾功
率各一个来回跑，中间功率各二个来回跑。测速前记录
艏艉吃水、测风仪高度、气温、水温、水密度、气压、
水深，算出排水量，水下横剖面面积，主船体和附体湿
表面积，横向受风面积。各单程记录：主机功率、转速、
航速、开始时间、结束时间、航向、风速风向角、波高
周期方向角、潮涌高周期方向角。

表 1 实船试航数据

Parameter	Value
Number of power settings during the sea trial	Four power settings
Trial date	26-04-2021
Run time duration	10 min
Current correction method	Means of means method
ITTC50 power criterion	65
Power settings	Valid number of power settings

Parameter -> #Run	Double Run ID (R)	Power setting (MCR)	Run start time (hh:mm)	Run direction (Run)	Heading (Deg)
#1	1	65%MCR	06:45	Forward run	71.0
#2	1	65%MCR	05:47	Return run	252.0
#3	2	75%MCR	06:27	Forward run	71.0
#4	2	75%MCR	07:05	Return run	251.0
#5	2	75%MCR	07:53	Forward run	71.0
#6	2	75%MCR	08:40	Return run	251.0
#7	3	85%MCR	09:13	Forward run	72.0
#8	3	85%MCR	09:56	Return run	252.0
#9	3	85%MCR	10:34	Forward run	72.0
#10	3	85%MCR	11:15	Return run	252.0
#11	4	100%MCR	11:52	Forward run	72.0
#12	4	100%MCR	12:34	Return run	251.0

关键点：浪高仪点选，若波高超要求而没有浪高仪，
系统认为数据错误而不运行。测速功率点不少于 3 个，
50% 功率无效。功率点的设置跟来回跑的数量设置要一
致。

3.4.7 修正结果

数据定义好后通过计算完成修正并生成模拟功率
曲线得到合同和 EEDI 速度并算出螺旋桨轻载因子，轻
载因子在 2%—9% 比较合适，过小不利用于安全，过大
不利于经济性。

防波堤智能巡检技术与应用

朱鹏瑞, 刘红彪, 尹纪龙, 薛润泽

(交通运输部天津水运工程科学研究所 水工构造物检测、诊断与加固技术交通行业重点实验室, 天津 300456)

摘要: 以中国东部沿海某防波堤为依托工程, 其建成后多次受到风暴潮破坏, 修复后仍出现继续破坏的情况, 为全面评估现状, 开展了智能巡检工作。防波堤水上可见工程利用无人机航拍技术, 水下隐蔽工程利用无人艇搭载多波束声呐测量水深, 测量获得的点云数据融合处理后建立防波堤三维可视模型, 并提取现状断面与设计对比研判防波堤破坏程度与破坏原因。该防波堤水下坡面多处受损, 坡面形态与设计断面存在一定差异, 水下扭工字块断肢、扭王字块滑落现象较多, 结合分析得出超出设计标准的自然灾害是造成该防波堤频繁破坏的主要原因。

关键词: 防波堤; 智能巡检; 断面对比; 破损原因

中图分类号: U656.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2023) 03—0089—03

结构检测及评估, 即结构故障诊断, 其目的是确定结构是否存在故障, 进而判别故障的程度和方位、结构目前的状况、使用功能以及结构故障的变化趋势等^[1]。港工建筑物结构检测目前仍然以常规检测为主, 巡检方式效率较低且结果粗放, 巡检过程中存在一定的安全隐患和盲区。随着科技发展, 近年来各种先进的设备与技术如无人机、水下机器人、多波束测深系统、声呐系统等逐步应用于水运结构检测, 大大提高检测的效率与精度^[2-7]。国内外学者对无人机低空摄影测量技术进行了研究, 特别是在无人机低空影像的获取方法、影像处理、三维建模等方面都展开了大量的研究。一些工程应

用了无人机低空摄影测量用于码头和防波堤的水上外观检测, 取得了良好的效果。部分港口实现了“水上无人机+水下多波束”初级智能巡检, 由于不同空间数据在数学基础、空间基准、尺度和格式方面的不一致, 检测成果割裂, 无法形成完整的水工建筑物立体信息模型, 缺乏直观性, 距离真正的智能巡检尚有不小的差距。

1 工程背景

某防波堤位于中国东部沿海, 是一座典型的斜坡式防波堤, 胸墙原为浆砌块石结构, 长度 2350m, 前沿水深在 5m ~ 10m 之间, 竣工于 1990 年, 其间多次遭受

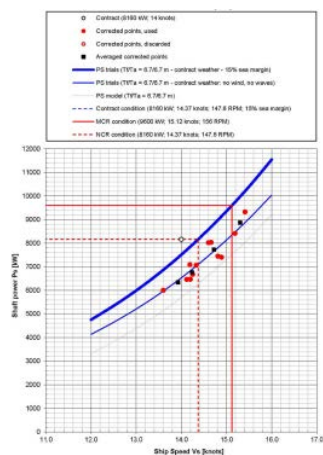


图3 功率—航速曲线

4 结语

基于规范要求的船速修正, 计算公式多而且非常复杂, 稍有不慎就容易出错, 借助于 STAIMO 软件, 可以得到很好的修正结果。测速功率点的设置, 要满足性能

测试和航速修正要求, 功率点设置越多, 功率—航速曲线越精确, 得到的最终结果更准确, 但功率点过多, 加大试航工作量。STAIMO 通过模拟功率曲线准确找到同功率点的速度, 大大提高了航速报告完成效率。

参考文献:

- [1] ISO15016:2015, 国际标准组织标准.
- [2] ITTC 7.5-01-01.2-2014, 国际拖曳水池协会公约.
- [3] 黄智强, 船舶试航航速修正方法对比分析, 广东造船 2019 年第 2 期.
- [4] GB-T3471-2011 海船系泊及航行试验规则, 国标.
- [5] 胡敏捷, 利用 M 修正法实现船舶航速修正的探讨, 广船科技 2015 年第 3 期.
- [6] 丁举, 考虑波浪影响的船速测量不确定度分析, 船舶 2007 年第 3 期.

基金项目: 公司科研项目 :3000TEU 集装箱船研发设计及建造关键技术研究 (编号: 2283C002)