

ITTC 2021 与 ISO 15016 航速修正应用对比

王楠 周旭

(南通中远海运川崎船舶工程有限公司 南通 226005)

摘要: 为了解 ITTC 2021 航速修正方法的适用性, 论文介绍了该方法在船舶测速过程中的试验要求和修正流程, 并将该方法与 ISO 15016:2015 方法进行了对比。结合航速修正原理, 通过编程的方式开发了 2 种方法的实船航速修正程序, 并选用 3 种典型船舶的试航数据, 分别采用上述修正方法进行分析, 总结了 2 种修正方法在不同风、波浪、潮流、温度、密度和水深等环境因素下对修正结果的影响。结果表明: ITTC 2021 修正方法相对于 ISO 15016:2015 方法更为合理, 且针对研究的 3 种船型, ITTC 2021 方法得到的航速略高于 ISO 15016:2015 修正方法, 而新增的波浪增阻修正方法是导致分析结果产生偏差的主要因素。

关键词: 航速修正方法; ITTC 2021; 环境因素; 阻力修正

中图分类号: U661.78 **文献标志码:** A **DOI:** 10.19423/j.cnki.31-1561/u.2024.04.014

Comparison of Speed Correction Method Between ITTC 2021 and ISO 15016

WANG Nan ZHOU Xu

(Nantong COSCO KHI Ship Engineering Co., Ltd., Nantong 226005, China)

Abstract: In order to understand the applicability of the speed correction method of the ITTC 2021, the experimental requirements and correction process of the speed correction method of this method during the test of ship speed are introduced and compared with those of the ISO 15016:2015. Speed correction programs for the two methods are developed through programming based on the principle of speed correction. The trial data of three typical ship types are then analyzed by using the two correction methods, summarizing the effects of the two correction methods on the correction results under different environmental factors such as wind, wave, tide, temperature, density, and water depth. The results show that the correction method of the ITTC 2021 is more reasonable than that of the ISO 15016:2015. And the resulting speed corrected by the ITTC 2021 method is slightly higher than that by the ISO 15016:2015 correction method for these three ship types, while the newly added correction method for the added resistance in waves is the main factor causing the difference of the analysis results.

Keywords: speed correction method; ITTC 2021; environmental factor; resistance correction

0 引言

随着国际海事组织 (international maritime organization, IMO) 关于船舶能效设计指数 (energy efficiency design index, EEDI) 强制性要求的不断深入, 船舶 EEDI 认证流程受到了船厂、船东和船级社的高度重视。对于新设计船, 其实际航速是 EEDI 最终认证的重要参数, 需要通过测速试验, 并进行环境修正得到。目前 EEDI 航速修正方法一般采用国际标准化组织 (international organization for standardization, ISO) 提出的 ISO 15016:2015

方法和国际拖曳水池会议 (international towing tank conference, ITTC) 方法等^[1]。

2021 年第 30 届 ITTC 上更新了之前的 ITTC 2017 航速修正方法^[2], 并且在 IMO 第 79 次海上环境保护委员会 (marine environment protection committee, MEPC) 上, 正式采纳 ITTC 2021 航速修正方法^[3]。相比于 ISO 15016:2015 方法, ITTC 2021 方法在试验操作和修正方法方面有所更新。

本文对比了 2 种修正方法, 并在 ISO 15016:2015 试航规程下, 开展了 3 种典型船型的速度测试, 分别采用 ISO 15016:2015 和 ITTC 2021 这 2 种方

收稿日期: 2023-04-12; 修回日期: 2023-05-22

基金项目: 交通运输行业重点科技项目 (2021-MS2-072)

作者简介: 王楠 (1988-), 男, 硕士, 高级工程师。研究方向: 船舶总体设计。

周旭 (1977-), 男, 本科, 高级工程师。研究方向: 船舶总体设计。

法修正试验结果，比较各个修正量的差别，分析了 2 种不同方法对速度修正结果的影响。

1 实船试航修正方法介绍

IMO 在 2015 年通过了 ISO 15016:2015 方法^[4]，适用于在 2015 年 9 月 1 日及以后进行 EEDI 试航验证的船舶。该方法考虑到了风、浪、涌、流、水温、密度、排水量等参数的修正,对测速相关责任方、试验准备、船舶状态、环境条件、试验程序、数据记录等方面也提出明确要求，是目前广泛采用的航速修正方法。

第 30 届 ITTC 颁布了 ITTC 2021 实船试航修正

方法，在 ITTC 2017 方法的基础上进行了更新。相比于 ISO 15016:2015 方法，该方法的试验过程与分析流程一致，但试验要求和修正方法方面有所更新，故计算结果也稍有不同。

2 ITTC 2021 与 ISO 15016 修正方法对比

近年来，很多学者针对 ISO 15016 和 ITTC 方法进行了研究^[5-7]，提出 2 种修正方法在波浪、潮流和试验环境等方面的对比结果。表 1 和表 2 分别给出了 2 种方法在试验要求与修正过程方面的主要区别。

表 1 ISO 15016:2015 和 ITTC 2021 试验要求

试验要求	ISO 15016:2015	ITTC 2021
海况要求	风浪和涌浪的波高受限于测量方法： 1) 波高 ≤ 2.25x，需要测量的方法； 2) 波高 ≤ 1.50x，可采用观察的方法； 3) 波高 ≤ 0.50x，目测结合水池的方法。	删除了波高 ≤ 0.50x 的这种方式，即当波高 ≤ 1.50x 时，可采用观察的方法。
浅水修正要求	1) 小于 max (3√BT _m , 2.75v ² /g) 2) 大于 max (2√BT _m , 2v ² /g)	大于 max (2.5T _m , 2.4v ² /g)
潮流要求	1 个来回时间段内潮流速度变化不超过 0.5 kn。	1 个来回时间段内潮流变化不超过 0.5 kn/h 乘以 1 个来回的时间段。

注：B 为船宽；v 为船速；T_m 为船舶的平均吃水；g 为重力加速度；x = √L_{pp}/100；max() 为取大者

表 2 ISO 15016:2015 和 ITTC 2021 修正过程

修正过程	ISO 15016:2015	ITTC 2021
绝对风速处理	绝对风速和风向取 1 个来回的平均值。	对于 1 个来回内的绝对风速差别在 5% 或者 0.5 m/s 以内 (取大者)，可采用单趟的绝对风速和风向，其他情况取 1 个来回的平均值。
风修正	1) 风速仪高度下绝对风速修正： v _{WT,ref} =v _{WT} (Z _{ref} /Z _a) ^{1/7} ； 2) 风阻力系数获取：风洞试验、STA-JIP 数据库 (13 个船型)、Fujiwara 公式。	1) 风速仪高度下绝对风速修正： v _{WT,ref} =v _{WT} (Z _{ref} /Z _a) ^{1/9} ； 2) 风阻力系数获取：风洞试验、CFD 方法、STA-JIP 数据库 (18 个船型)、Fujiwara 公式
波浪 / 涌浪修正	1) STAWAVE-1 简易方法； 2) STAWAVE-2 经验方法； 3) 结合水池的理论方法； 4) 模型试验。	1) STAWAVE-1 简易方法； 2) STAWAVE-2 经验方法； 3) SNNM 半经验公式； 4) 结合水池的理论方法； 5) 模型试验。
温度和密度修正	温度和密度引起的阻力增加公式中不考虑粗糙度的影响。	温度和密度引起的阻力增加公式中考虑粗糙度的影响。
浅水修正	Lackenby 方法	Raven 方法

注：v_{WT,ref} 为相对高度下的绝对风速；v_{WT} 为风速仪高度下绝对风速；Z_{ref} 为相对高度；Z_a 为风速仪高度

由表2可以看出, ITTC 2021方法主要在风阻力修正、波浪修正、温度和密度修正以及浅水修正方面与ISO 15016:2015不同。风阻力修正方面, 2种方法在风剖面上风速变化有所不同; 风速仪高度修正方面, ITTC 2021方法约比ISO 15016:2015方法高5%; 风阻力系数方面, ITTC 2021方法采纳了CFD方法计算风阻力系数, 并且将风阻力系数数据库从原先的13个船型扩展到18个船型, 拓宽了风阻力系数的获取方式; 波浪/涌浪修正方面, ITTC 2021在ISO 15016:2015的基础上增加了半经验方法SNNM (shopera-ntua-ntu-maric); 温度和密度修正方

面, ITTC方法考虑了粗糙度的影响; 对于浅水修正, ITTC 2021方法采用了Raven方法。不同于Lackenby方法对航速的修正, Raven方法是对功率进行修正^[8]。但在实际试航时, 应尽量选择水深较大海域进行测速, 避免进行浅水修正。

3 计算分析

本次测速试验选用散货船、油船和集装箱船这3种船型, 对于测速结果分别采用ISO 15016:2015和ITTC 2021这2种方法进行修正。具体船型信息及试验工况等如表3所示。

表3 不同船型基本信息

船型	船长/m	船宽/m	吃水/m	主功率/kW	试验工况	水深/m	水温/℃	气温/℃	试验回合
散货船	199	32	5.6	7 500	压载	100	15	25	4
油船	330	60	20.5	26 000	设计	500	15	30	3
集装箱船	380	58	8.5	56 000	压载	600	15	10	5

为对比ITTC 2021方法更新的内容对修正结果的影响, ISO 15016:2015和ITTC 2021修正方法的风阻力系数均采用风洞试验结果, 但采用不同的绝对风速修正公式。波浪阻力修正方面, 前者采用STAWAVE-2方法, 后者则采用SNNM方法; 温度和密度修正方面, 前者不考虑粗糙度补贴系数, 后者则考虑粗糙度补贴系数; 两者均不考虑浅水修正。

3.1 航速功率修正对比

本文分别采用2种方法对3种船型的海试结果进行修正, 结果见图1至下页图3。其中横坐标表示试验的回合, 纵坐标表示修正后的结果相对于修正前的百分比。下页表4给出了2种修正方法计算得到的EEDI航速对比。

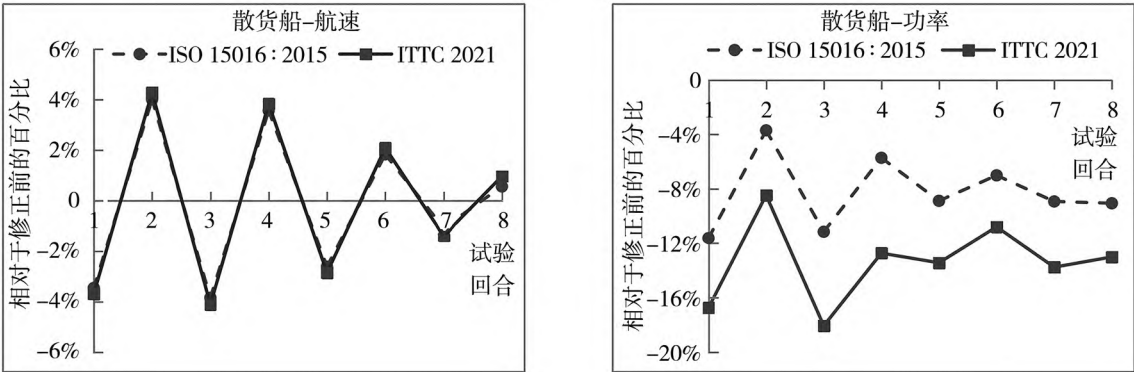


图1 散货船速度功率修正结果

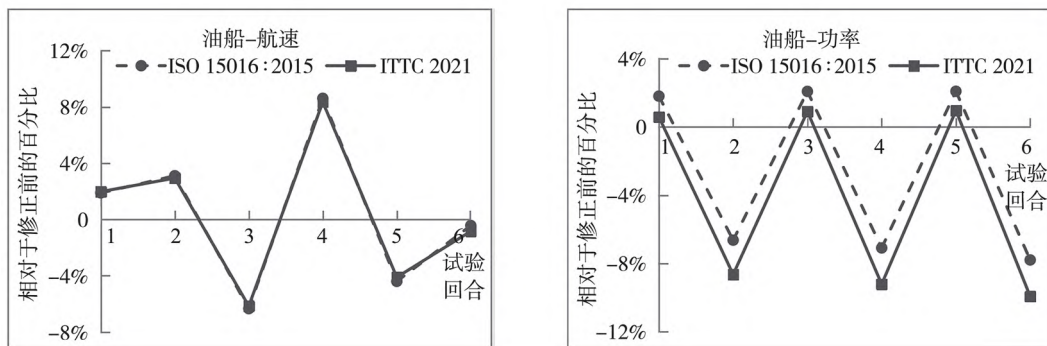


图 2 油船速度功率修正结果

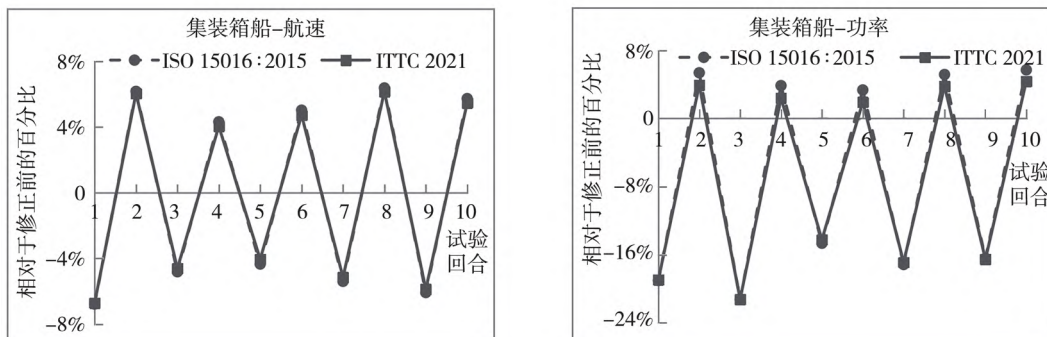


图 3 集装箱船速度功率修正结果

表 4 2 种修正方法下 EEDI 航速对比

船 型	航速 /kn		偏 差
	ISO 15016 : 2015	ITTC 2021	
散货船	13.91	14.10	+0.19
油 船	15.15	15.25	+0.10
集装箱船	22.67	22.72	+0.05

以上计算结果可以看出，采用 ITTC 2021 方法进行修正后的航速与 ISO 15016 : 2015 的结果较为接近，但是修正后的功率偏差较大，并且 ITTC 2021 方法对功率的修正量较大。从船型上看，2 种

方法在功率修正量上的偏差对于主机功率较小的船偏差较大，而对于主机功率较大的船偏差较小。从 EEDI 航速上看，由于 ITTC 2021 方法对功率的修正量较大，使得修正后的航速较 ISO 15016 : 2015 的修正结果偏大，这对计算 EEDI 是有利的。

3.2 各种修正项对比

2 种修正方法计算得到的风阻、波浪增阻以及温度增阻的对比结果如表 5 至下页表 7 所示，表中 Δ_1 、 Δ_2 、 Δ_3 分别为 ITTC 2021 修正方法中不同阻力分项相对于 ISO 方法的变化比例。

表 5 散货船在 2 种修正方法下各阻力增量对比

航 次	ISO 15016 : 2015			ITTC 2021					
	风阻力 / kN	涌浪阻力 / kN	温度引起的阻力 / kN	风阻力 / kN	Δ_1 / %	涌浪阻力 / kN	Δ_2 / %	温度引起的阻力 / kN	Δ_3 / %
1	3.2	65.6	-0.776	2.5	-22	97.2	+48	-0.783	+0.83
2	20.0	0	-0.776	20.6	+3	27.2	-	-0.783	+0.83
3	-4.5	64.5	-0.700	2.8	-163	94.9	+47	-0.706	+0.83
4	29.3	0	-0.700	44.1	+51	22.5	-	-0.706	+0.83
5	-7.9	54.6	-0.702	-8.8	+11	80.4	+47	-0.708	+0.83
6	36.2	0	-0.702	37.6	+4	19.0	-	-0.708	+0.83
7	-11.6	53.0	-0.590	-12.4	+7	77.2	+46	-0.595	+0.82
8	42.6	0	-0.590	44.7	+5	16.4	-	-0.595	+0.82

表 6 油船在 2 种修正方法下各阻力增量对比

航次	ISO 15016 : 2015			ITTC 2021					
	风阻力 / kN	涌浪阻力 / kN	温度引起的阻力 / kN	风阻力 / kN	$\Delta_1/\%$	涌浪阻力 / kN	$\Delta_2/\%$	温度引起的阻力 / kN	$\Delta_3/\%$
1	-29.0	0	-9.098	-30.0	+3	22.1	-	-9.212	+1.3
2	77.1	54.2	-9.098	81.7	+6	87.6	+62	-9.212	+1.3
3	-29.9	0	-8.227	-31.1	+4	19.6	-	-8.328	+1.2
4	70.0	53.3	-8.227	74.1	+6	85.2	60	-8.328	+1.2
5	-28.1	0	-7.785	-28.9	+3	18.1	-	-7.878	+1.2
6	74.7	52.7	-7.785	79.1	+6	83.8	59	-7.878	+1.2

表 7 集装箱船在 2 种修正方法下各阻力增量对比

航次	ISO 15016 : 2015			ITTC 2021					
	风阻力 / kN	涌浪阻力 / kN	温度引起的阻力 / kN	风阻力 / kN	$\Delta_1/\%$	涌浪阻力 / kN	$\Delta_2/\%$	温度引起的阻力 / kN	$\Delta_3/\%$
1	346.0	59.7	-2.605	336.9	+6	35.9	+40	-2.646	+1.6
2	-109.0	0	-2.605	-114.7	+5	32.6	-	-2.646	+1.6
3	442.8	62.0	-2.948	465.1	+5	37.2	-40	-2.995	+1.6
4	-88.7	0	-2.948	-94.1	+6	36.1	-	-2.995	+1.6
5	275.8	70.0	-2.925	291.7	+6	42.4	-39	-2.972	+1.6
6	-78.6	0	-2.925	-83.2	+6	35.3	-	-2.972	+1.6
7	346.3	91.1	-3.271	367.0	+6	62.3	-32	-3.325	+1.6
8	-129.2	0	-3.271	-135.1	+5	37.6	-	-3.325	+1.6
9	384.6	67.5	-3.486	408.0	+6	46.0	-32	-3.543	+1.6
10	-149.8	0	-3.486	-156.3	+4	39.3	-	-3.543	+1.6

由表可见,风阻力的偏差基本在 5%~6%,主要因 2 种修正方法中不同高度下的绝对风速修正系数不同而引起。需注意的是,表 5 中散货船在第 3~4 航次下的 2 种修正方法风阻力偏差较大,这是因为往返过程的绝对风速偏差较小,ITTC 2021 方法采用了单趟的绝对风速和风向,而 ISO 15015 则采用往返过程平均绝对风速和风向。

波浪增阻方面,2 种修正方法采用了不同的波浪增阻公式,使得 2 种修正方法下的波浪阻力偏差较大,这也是造成最终主机功率偏差较大的主要原因。不规则波的波浪增阻如式(1)所示:

$$R_{aw} = 2 \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \frac{R_{wave}(v_s, \omega, \alpha)}{\zeta_a^2} S_{\zeta\zeta}(\omega) G(\alpha) d\omega d\alpha \quad (1)$$

式中: R_{aw} 为不规则波波浪增阻, kN; ω 为波的圆频率, rad/s; v_s 为船舶航速, m/s; α 为成分波与船首的夹角, rad; $S_{\zeta\zeta}$ 为波浪谱; $G(\alpha)$ 为方向谱。

STAWAVE-2 方法采用的是长峰不规则波的波

浪增阻,不考虑波浪的方向,仅适用于浪向在船首 $\pm 45^\circ$ 之内的波浪阻力计算,此时 $G(\alpha)=1$,其他方向下 $G(\alpha)=0$ 。对于 SNNM 方法则采用的是短峰不规则的波浪增阻,需要考虑成分波 α 以及主波 θ_m 的方向,如图 4 所示。

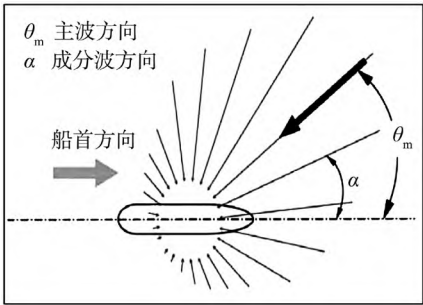


图 4 SNNM 方法中船舶受波浪力示意图

以本文选择的散货船在 $Fr=0.15$ 时为例,分别采用 STAWAVE-2 方法和 SNNM 方法计算不同方向下的波浪增阻,其结果如下页图 5 所示。

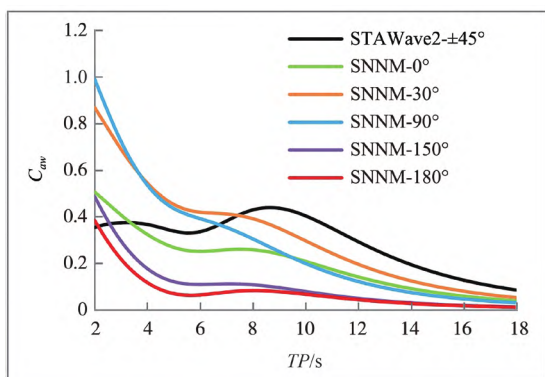


图5 2种方法下的波浪增阻系数对比 ($Fr=0.15$)

其中波浪增阻系数 C_{aw} 采用式(2)计算:

$$C_{aw} = \frac{R_{aw}}{\rho g H^2 B^2 / L_{pp}} \quad (2)$$

式中: ρ 为水的密度, kg/m^3 ; H 为波高, m ; L_{pp} 为垂线间长, m ; B 为船宽, m 。

由图5可以看出,当周期小于8s时,以SNNM方法所得船首斜浪与横浪的增阻比STAWAVE-2的结果大;而顶波情况下,除很小的周期外,其他情况下SNNM方法的结果均小于STAWAVE-2的结果。此外,STAWAVE-2方法在船首 $\pm 45^\circ$ 之外的波浪增阻为0,SNNM方法则存在一定的波浪增阻,这也导致SNNM方法最终计算得到的波浪增值更大。

温度和密度引起的增阻主要由于海水密度变化导致海水的运动黏性发生变化,从而引起摩擦阻力的变化。从表5~7的计算结果中可以看出,当海试处于标准温度 15°C 以及标准密度 1026 kg/m^3 时,由温度引起的增阻较小;而越偏离标准温度和密度,引起的增阻也将越大。此外,ITTC 2021方法中考虑了粗糙度补贴系数、增加了摩擦阻力,最终使得温度增阻略高于ISO 15016:2015方法,但两者区别较小,可以忽略。

3.3 潮流对比

3种试验船舶均采用“迭代法”进行潮流修正,需先利用直接功率法修正风、浪、涌、水温和密度等环境因素,再进行潮流的修正。2种修正方法的总阻力不同,将导致潮流修正存在差异。表8给出

了2种修正方法下的潮流差别,可以看出潮流偏差较小,基本在0.06kn以内。

表8 2种修正方法下的潮流对比

船型	功率偏差 /%	潮流偏差 /kn
散货船	4.0 ~ 6.0	0.03 ~ 0.06
油船	1.0 ~ 1.3	-0.01 ~ -0.05
集装箱船	1.0 ~ 1.5	-0.02 ~ -0.06

虽然ITTC 2021方法修正后的功率小于ISO 15016:2015方法,但是最终得到的潮流偏差相比于ISO方法有正有负。这是因为潮流的修正存在不断迭代和曲线拟合的过程,整个过程中的拟合误差可能会对潮流的结果产生一定的影响。不过总的来说,2种方法对潮流修正的差别较小,并且基本符合“功率偏差越大,潮流偏差的绝对值越大”的规律,如图6所示。

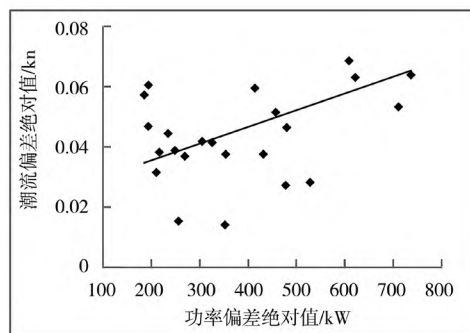


图6 2种方法下功率偏差与潮流偏差的关系

3.4 浅水修正对比

3种船舶均在深水中进行速度测试,无需进行浅水修正。为对比Raven方法和Lackenby方法的不同,以文中的散货船为例,在浅吃水的条件下进行吃水修正。由于Lackenby方法是对航速进行修正,而Raven方法则是对功率进行修正,为方便对比,将Raven方法得到的功率降低转换为航速增加,最终对比的结果如下页图7所示。

该图表明,Lackenby方法有最小吃水和最大吃水的限制,而Raven方法仅有最小吃水的限制,取消了最大吃水的限制,尽管如此,当吃水增加到足够大时,Raven方法对浅水修正的影响将变得很小,可以忽略。

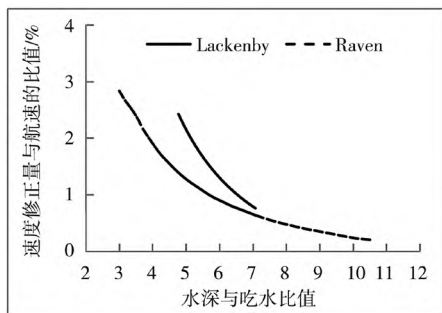


图7 2种浅水修正方法对航速的影响

2种修正方法对航速的影响均随水深的增加而逐渐减弱,从趋势上看,在相同吃水下,Raven方法较Lackenby方法对航速影响更小,但是随着吃水增加,两者差别逐渐减小。总的来说,ITTC 2021中Raven方法对浅水的修正更加保守,但在实际试航时,深水条件下的船体性能及设备运行等相对于浅水更加稳定,故测速时的水深应尽量深。

4 结 论

通过对ITTC 2021实船航速修正方法的介绍,对比了该修正方法与ISO 15016:2015修正方法的不同,并结合3种不同船型的试航数据,利用2种修正方法进行对比分析,得出如下结论:

(1) 相比于ISO 15016:2015方法,ITTC 2021的主要变化是增加了SNNM方法计算波浪增阻、绝对风速修正公式更新、密度和温度的修正更新,以及修改了浅水修正的方法。

(2) 2种修正方法所得到航速偏差较小,但功率偏差较大,最终ITTC 2021方法修正后的EEDI航速较ISO 15016:2015方法所得结果高0.05~0.20 kn,主要是因2种不同的波浪增阻修正方法所导致。

(3) SNNM方法考虑了不规则波的波向影响,而STAWAVE-2则限定波浪方向在船首 $\pm 45^\circ$ 。一般试航条件下(周期通常小于10 s),SNNM方法顶波阻力要小于STAWAVE-2方法,但船首斜波阻力明显大于STAWAVE-2方法,并且对于随波阻力,SNNM方法的计算结果也大于STAWAVE-2方法(STAWAVE-2方法随波阻力为0)。

(4) ITTC 2021方法中,不同高度下的绝对风速的修正系数与ISO 15016:2015方法不同,最终

导致计算得到的风阻力增加较ISO 15016:2015方法高约5%,其对航速-功率关系的影响可以忽略。

(5) 2种修正方法下的温度和密度引起的增阻偏差较小,并且随着温度和密度偏离标准值越大,两者的偏差也随之增加。

(6) 2种修正方法得到的总阻力增阻的偏差会对采用迭代法计算潮流的结果产生偏差,其偏差量较小,基本符合“功率偏差越大、潮流偏差绝对值越大”的规律。

(7) ITTC 2021方法中推荐的Raven浅水修正方法较ISO 15016:2015中Lackenby浅水修正方法对航速的影响更加保守,并且随着吃水增加,修正量逐渐减弱。

目前普遍采用ISO 15016:2015方法进行EEDI航速认证,但是该方法也存在不合理之处,比如超大船舶在1个来回内的潮流限制,以及采用1个来回内的平均绝对风速进行计算等。目前ISO也在讨论最新的航速修正方法,而ITTC 2021方法的更新则为EEDI航速修正提供了额外的计算方法。

参考文献

- [1] 季盛,文逸彦,伍锐,等.不同实船航速修正方法的实例对比[J].中国造船,2018,59(1):87-98.
- [2] ITTC. ITTC-recommended procedures and guideline: preparation, conduct and analysis of speed/power trials [S]. Zurich: ITTC, 2022.
- [3] MEPC. 2022 guidelines on survey and certification of the energy efficiency design index (EEDI) [S]. London: MEPC, 2022.
- [4] ISO. ISO 15016: ships and marine technology-guidelines for the assessment of speed and power performance by analysis of speed trial data [S]. Geneva: ISO, 2015.
- [5] 王楠,周旭,郑金伟,等. ISO与ITTC方法在实船航速修正上的应用对比[J].船舶工程,2020,42(9):59-63.
- [6] 胡琼,陈天宇,徐杰,等.实船试航中不同流修正方法的对比分析[J].中国造船,2017,58(4):56-64.
- [7] 冯松波,魏锦芳,王杉.不同波浪增值计算方法对实船航速修正影响的分析[J].中国造船,2021,62(3):214-221.
- [8] 刘刚,李嘉宁,郭世玺.Lackenby与Raven浅水航速修正方法应用对比[J].上海船舶运输科学研究所学报,2019,42(4):7-11,17.

