

doi:10.3969/j.issn.1003-2029.2019.02.012

航行船舶真风误差源分析

李志乾^{1,2,3}, 漆随平^{1,2,3*}, 胡桐^{1,2,3}, 邹靖^{1,2,3}, 郭颜平^{1,2,3}, 王东明^{1,2,3}

(1. 齐鲁工业大学(山东省科学院), 山东省科学院海洋仪器仪表研究所, 山东 青岛 266061; 2. 山东省海洋监测仪器装备技术重点实验室, 山东 青岛 266061; 3. 国家海洋监测设备工程技术研究中心, 山东 青岛 266061)

摘要:真风对海上航行的船舶有重要的气象导航意义,若真风测算不准确,会给导航员造成误判,影响船舶安全航行,但在船舶等运动平台上真风无法直接测量,只能依靠矢量模型计算间接获取。根据真风解算模型和误差传播规律,推导了船舶真风误差模型。在矢量模型中,航行船舶真风误差主要来自于船风和相对风的计量误差,船风的计量误差主要是由于航速航向的选取问题导致的误差,相对风的测量误差主要包括传感器自身精度、安装误差、平台姿态影响和系统性干扰误差等几个方面。以船舶转向过程为例,分析了航行风与相对风的变化规律,结合船体运动姿态,加入运动补偿修正量,建立了船舶转向式真风补偿模型。

关键词:船舶真风解算模型;航行风;相对风;真风误差

中图分类号:P412.16; P716+.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-2029(2019)02-0078-07

真风是相对于地面的自然界实际风,与载体平台的运动无关,若真风测算不准确,会影响船舶操纵判断,海上航行的船舶容易偏离预定航线,在航行密度大海域或复杂水道航行的船舶易发生碰撞、搁浅或触礁等事故,直接影响船舶进出港作业及海上通航秩序,给海上航行安全造成严重威胁。大中型船舶上都安装有气象仪,为船舶提供实时气象水文监测服务,而且海上气象站点稀少,船舶载体可作为海上气象监测站点的有益补充,船舶测算的真风精度将直接影响到以此为初始数据源的海洋预测预报的准确性。因此,加强船舶真风测算的准确性对操纵船舶离靠码头、防台避险、舰机协作、海上搜救,以及推动局地中小尺度的海洋气象水文研究发展等有重要的参考指导意义。

真风对船舶操纵驾驶和海洋气象预报有重要的参考意义,历来是各国海洋气象监测的重点。Moat 等^[1-2]对商船上气流扭曲造成的风向风速计测量偏差,进行了风洞试验模拟验证,建议风向风速计应尽可能远离阻风障碍物。Nacass^[3]采用 CFD 模

拟计算船载风速仪周围的气流失真现象。Smith 等^[4]对测风数据进行了质量控制。Johnson 等^[5]研究了一种移动平台上的风传感器运动补偿的系统,用来校正补偿相对风速,但该文没有给出风向的补偿方法。江立军等^[6]研究了船舶运动状态下风速风向动态测量建模方法。李志乾^[7]对航行状态的测风数据进行了误差分析,指出了各个方向上的风速风向误差源。姬延军等^[8]对某船航行状态的风速误差进行了分析。任晓文^[9]研究了船舶运动对风向风速测量的影响,采用 BP 神经网络对运动速度、姿态情况和测量结果进行了曲线拟合。郜治等^[10]分析了舰载风速仪测量误差与安装位置的关系,给出了风向风速值测误差随安装位置的变化规律。王国峰等^[11]提出一种基于空间模型的风速风向测量误差补偿算法,建立了船舶运动状态下风速风向矢量的空间模型。周亦武等^[12]提出基于多变量非线性拟合的补偿算法,实现了船舶摇摆下风向风速的动态测量。于永清等^[13]设计了一种船舶风速风向动态测量及误差补偿的数字仿真系统,对船舶横摇、纵摇状态下的风速

收稿日期:2018-09-21

基金项目:山东省自然科学基金资助项目(ZR2018QD005, ZR2016DB32);国家自然科学基金资助项目(41805132, 41606112)

作者简介:李志乾(1983-),男,博士,副研究员,主要从事船舶气象技术研究。E-mail:lizhiqian76@126.com

通讯作者:漆随平(1970-),男,博士,研究员,主要从事船舶气象及海上大气波导研究。E-mail:qisp36@163.com

风向的动态测量和误差补偿进行了数字仿真。张永刚等^[14]利用船体摇摆、俯仰和船头转动三个自由度运动的角速度来修正风向风速仪的测量误差。赵永生等^[15]发明了一种带有运动姿态补偿的风速风向动态测量方法及装置。

上述研究主要侧重于风测量方面,在相对风测量误差方面进行了不同方法的分析,但海上航行船舶关心的是真风,在船舶等运动平台上真风无法直接测量,只能依靠模型间接计算获取,仅提高相对风测量精度并不意味着就能一定能提高真风的准确度,实际上,船舶真风受多种因素影响。本文重点讨论航行船舶真风误差源问题,为船舶真风误差控制处理和补偿修正技术等方面提供参考和切入点。

1 船舶真风解算模型及误差建模

有关几类风的概念请参考文献[16]。

相对风是航行风与真风的合成,记相对风为 $\vec{V}_r$,航行风为 $\vec{V}_s$,真风为 $\vec{V}_v$,则船舶真风计算模型的矢量形式为: $\vec{V}_r = \vec{V}_v - \vec{V}_s$,如图1所示。在 $\vec{V}_r, \vec{V}_v, \vec{V}_s$ 组成的矢量三角形中,由余弦定理:

$$\|\vec{V}_r\|^2 = \|\vec{V}_v\|^2 + \|\vec{V}_s\|^2 - 2\|\vec{V}_v\| \cdot \|\vec{V}_s\| \cdot \cos\alpha \quad (1)$$

若不计相对风误差,考察 $\|\vec{V}_r\|^2$ 的中误差,

$$\frac{\partial \|\vec{V}_r\|^2}{\partial \|\vec{V}_s\|} = 2\|\vec{V}_s\| - 2\|\vec{V}_v\| \cdot \cos\alpha, \text{ 则: } m_{\|\vec{V}_r\|^2} = (2\|\vec{V}_s\| - 2\|\vec{V}_v\| \cdot \cos\alpha) m_{\|\vec{V}_s\|}。 \text{ 由航速越大, } \alpha \rightarrow 0, \text{ 从而可简化为:}$$

$$m_{\|\vec{V}_r\|^2} = \pm 2 \cdot (\|\vec{V}_s\| - \|\vec{V}_v\|) \cdot m_{\|\vec{V}_s\|} \quad (2)$$

式(3)说明:当相对风速与航行风速相近,真风速误差小;当二者绝对差值较大时,真风误差也随之变大,上式可以很好地解释船员常反映解算出来的真风大小会随航速变化的问题。

在式(1)中, $\|\vec{V}_r\|^2 = \|\vec{V}_v\|^2 + \|\vec{V}_s\|^2 - 2\|\vec{V}_v\| \cdot \|\vec{V}_s\| \cdot \cos\alpha$, 当相对风 $\vec{V}_v$ 、航行风 $\vec{V}_s$ 、风向角度 α 均有误差时,根据误差传播规律公式有:

$$m_{\|\vec{V}_r\|^2}^2 = \left(\frac{\partial \|\vec{V}_r\|^2}{\partial \|\vec{V}_s\|} \right)^2 \cdot m_{\|\vec{V}_s\|}^2 + \left(\frac{\partial \|\vec{V}_r\|^2}{\partial \|\vec{V}_v\|} \right)^2 \cdot m_{\|\vec{V}_v\|}^2 + \left(\frac{\partial \|\vec{V}_r\|^2}{\partial \alpha} \right)^2 \cdot m_{\alpha}^2$$

$$\begin{aligned} &= 4 \cdot (\|\vec{V}_s\| - \|\vec{V}_v\| \cdot \cos\alpha)^2 \cdot m_{\|\vec{V}_s\|}^2 + \\ &4 \cdot (\|\vec{V}_v\| - \|\vec{V}_s\| \cdot \cos\alpha)^2 \cdot m_{\|\vec{V}_v\|}^2 + \\ &4 \cdot (\|\vec{V}_s\| \cdot \|\vec{V}_v\| \cdot \sin\alpha)^2 \cdot m_{\alpha}^2 \end{aligned}$$

上式第一项 $\|\vec{V}_s\| - \|\vec{V}_v\| \cdot \cos\alpha$ 表示 $\vec{V}_s$ 与 $\vec{V}_v$ 在 $\vec{V}_s$ 方向上的投影之差,记为 $\|\Delta\vec{V}_s\|$;第二项 $\|\vec{V}_v\| - \|\vec{V}_s\| \cdot \cos\alpha$ 表示 $\vec{V}_v$ 与 $\vec{V}_s$ 在 $\vec{V}_v$ 方向上的投影之差,记为 $\|\Delta\vec{V}_v\|$;第三项 $\|\vec{V}_s\| \cdot \|\vec{V}_v\| \cdot \sin\alpha$ 是 $\|\vec{V}_s\|$ 与 $\|\vec{V}_v\|$ 的叉积,是矢量三角形面积的2倍,记为 ΔA ;上式简写为:

$$m_{\|\vec{V}_r\|^2}^2 = 4 \cdot \|\Delta\vec{V}_s\|^2 \cdot m_{\|\vec{V}_s\|}^2 + 4 \cdot \|\Delta\vec{V}_v\|^2 \cdot m_{\|\vec{V}_v\|}^2 + 4 \cdot (\Delta A)^2 \cdot m_{\alpha}^2 \quad (4)$$

此即是真风误差模型。特别地,当 $\alpha \rightarrow 0$,即顶风航行时,三角矢量退变为共线矢量,上式简化为:

$$m_{\|\vec{V}_r\|^2}^2 = 4 \cdot (\|\vec{V}_v\| - \|\vec{V}_s\|)^2 (m_{\|\vec{V}_s\|}^2 + m_{\|\vec{V}_v\|}^2)$$

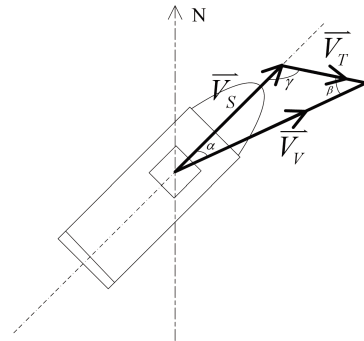


图1 船舶风的合成示意图

Fig.1 Schematic diagram of wind synthesis on ship

下面分别从相对风与航行风的测量影响因素找出真风的误差源。

2 航行风计量误差来源及影响分析

航行风是因船舶与水面发生了相对运动而产生的风,也叫“船风”,其误差与参考面的选择有关,尤其在复杂水道航行的船舶,航速航向的选择对真风计算有重要的影响。

2.1 航速源选择对航行风速的计量影响

依参考面不同,航速可细分为对水速度和对地速度。2017年4–6月随某船航行,采集了该船在海上航行的相对风、航向、航速(包括对地速度与对水速度)等数据,分别采用对地速度和对水速度计算真风。取相对风速大于15 m/s,对水速度和对地速度均大于15 kn的数据样本计算,图2是用两种航速源计算的真风差值随航速源差值变化的关系曲线,由于水流速度的影响,从图上可以看出,在高航速情况下,分布采用两种航速源计算出的真风有较大差别,对水速度与对地速度计量相差2 kn时,真风差值在1 m/s以上,二者误差近似呈线性增长。

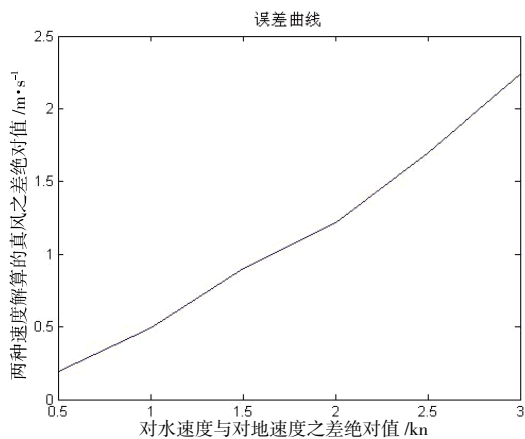


图2 不同航速源真风误差曲线

Fig.2 True wind error curve by choosing different speed sources

2.2 航向源选择对航行风向的计量影响

若将船舶视为“体”,船舶艏向即为航向;若将船舶视为“质点”,船舶的迹向即为航向。如图3所示,受海流因素的影响,航行中的船舶并非“直线”运动,在保持艏向的同时又有运动轨迹向,即偏航。一般情况下,艏向由陀螺设备测量,而迹向由卫导系统给出,航行风向(航向)采用不同的计量方式,依模型计算出的真风有较大区别。

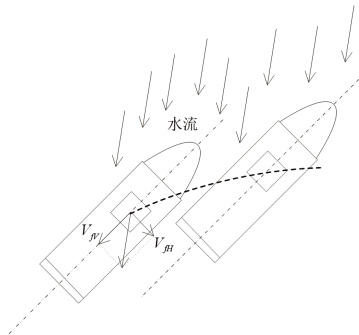


图3 水流对航向的改变示意图

Fig.3 Schematic diagram of the course change

3 相对风测量误差来源及影响分析

航行船舶上真风无法直接测量,只能依靠矢量模型间接计算,船上直接测量的相对风精度直接决定着计算真风的准确性。

3.1 测风传感器风向分辨率及零向安装不准引起的误差

风向分辨率是指传感器的风向最小分辨刻度,以某型号风速风向传感器5°分辨率为例,令真风为 $\vec{T}$,与真风呈 φ 角度航行,航行风为 $\vec{H}$,传感器实测相对风大小为 $|\vec{V}|$,由余弦定理可算得航行风与相对风的夹角 $\alpha = \arccos \frac{|\vec{V}|^2 + |\vec{H}|^2 - |\vec{T}|^2}{2 \cdot |\vec{V}| \cdot |\vec{H}|} =$

$k \cdot 5 + \delta, (-2.5 \leq \delta \leq 2.5, k \in \mathbb{Z})$,由于传感器5°分辨率的限制,风向实际读数为 $\beta = k \cdot 5$,真风 $\vec{T}$ 与船舶运动无关,当航行风 $|\vec{H}|$ 增大时,相对风 $|\vec{V}|$ 也增大,弦角 α 则相应减小,但由于传感器风向分辨率的限制,弦角 α 减小量并不明显,造成相对风向理论值与实测值有所偏差,这种误差必然会传递给真风。对式(4)来说,风向分辨率对真风的影响主要体现在第三项 ΔA (即矢量三角形面积)上。

在相对风 $\vec{V}$ 、航行风 $\vec{H}$ 和真风 $\vec{T}$ 组成的矢量三角形中,由余弦定理算得相对风与航向的夹角为 α ,在图5中,由于安装误差造成零位角 θ 的存在,传感器的风向读数应为 $\beta = \alpha + \theta$,再加上风向分辨率的叠合影响,传感器的示值应为 $\gamma = \beta + \delta$,如图6所示,此时的相对风为 $\vec{V}'$,再将 $\vec{V}'$ 代入真风解算模型求 $\vec{T}'$,风向分辨率及零向安装引起的真风误差为 $f(\Delta) = ||\vec{T}'|| - ||\vec{T}||$ 。

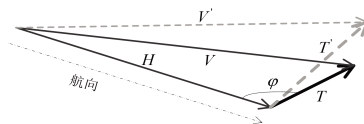


图4 正向零位对真风解算的影响

Fig.4 The influence of forward zero position on the calculation of true wind

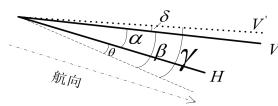


图5 正向零位风弦角示意图

Fig.5 Schematic diagram of forward zero wind chord angle

3.2 船舶运动姿态引起的相对风测量误差

船舶的船-艉方向称纵轴,用 X 表示;左-右舷方向称横轴,用 Y 表示;船的上甲板-船舱底方向称垂轴,用 Z 表示。海上航行的船舶是移动平台,其航行姿态易受浪、涌等海流因素影响,造成船体摇荡,表现为:

沿 3 个轴的平动振荡, X -进退运动, Y -横荡运动, Z -垂荡运动。

绕 3 个轴的旋转振荡, ϕ -横摇角,绕 X 轴的旋转振荡; θ -纵摇,绕 Y 轴的旋转振荡; ψ -艏艉摇,绕 Z 轴的旋转振荡。

这种六自由度振荡运动导致测风传感器安装平面不能与水平面恒保持平行,倾斜状态的测风传感器测量结果与真值会有较大偏差。旋转振荡对风速和风向的测量均有干扰影响,其中,小幅度的旋转振荡影响可精确测量振荡角及位移量,通过坐标变换来消除,而较大幅度的振荡须通过补偿装置或算法来校准。

3.3 主桅区相邻设备的系统性干扰误差

为避免遮挡影响,测风传感器一般安装在主桅两侧(外沿),船舶主桅区空间有限,狭小的空间区域内还安装有其他设备,如导航雷达、航行指示灯等,尤其是军舰及特种用途船舶的主桅结构更为复杂。船舶高速航行时,气流在主桅区遇阻形成涡流,对相对风测量造成干扰影响。

在真风一定时,涡流强度与航速、主桅结构有关,不同强度的涡流对相对风测量的影响程度不同,导致依模型计算的真风与实际真风不一致。这与船员反应的实际现象一致,即在同一海域经济巡航与高速航行、顺风与逆风时,计算真风均有较大差别。

这种干扰是主桅区多类型(台)设备组合安装在一起引起的系统性误差,只能在设计主桅结构时充分考虑涡流的影响,合理布局来尽量减小其影响,无法彻底消除。

4 船舶转向过程中真风误差分析

转向过程中,航行风矢量与船舶航速/航向不再是一对平行矢量,不能用船舶航速/航向来简单地替代测风传感器安装位置处航行风。由于船体转向,造成传感器底座转动,相对风的风向零位参考位也发生了改变,导致相对风向计量发生变化,依传统

模型计算出来的真风也会发生相应变化,这种误差是由计量误差和计算模型造成的,实际上,传统的平动式矢量模型并不适用于船体转向时的真风计算,须对模型加以改进。

测风传感器与船舶载体是点与体的关系,装在桅杆上的测风传感器相对于船舶,可视为质点。船舶迹向是指由 GPS(或北斗)定位接收机安装处的航迹向,与测风传感器安装位置处运动轨迹方向并不一致,尤其是在船体转向时,不能用船舶航迹向来代替测风传感器的运动轨迹方向,但二者存在一定的数学解析关系。

如图 6 所示, A 点为 GPS 接收机所在位置, B 点为测风传感器所在位置,迹向定义为该点运动的切线方向,当船体转向时,显然 A 点与 B 点的迹向方向并不一致。假设船体倾角为 γ ,船体质量 m , r 为转弯半径,由匀速圆周运动规律可知, $mg \cdot \tan \gamma = m \cdot \frac{||v||^2}{r} \Rightarrow r = \frac{||v||^2}{g \cdot \tan \gamma}$,其中, v 与 γ 均可从其他设备获取, A 与 B 点水平距离 l 已知,则 $\beta = \alpha \approx \frac{l}{r}$,此时 $\vec{V}_a = \vec{V}_b + \beta$ 。

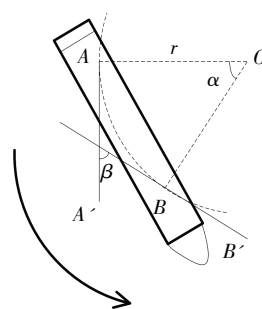


图 6 船体转向航迹向示意图

Fig.6 the track direction of ship when steering

中小型船舶船体空间有限,GPS 接收天线与测风传感器相距不远,对航行风的计量误差影响不大;对大型船舶而言,平台相对稳定,GPS 接收天线与测风传感器相距较远,航行风的计量误差是真风解算产生误差的主导因素。

船体转向过程中,由于转动矩的存在,传感器风向零位发生了转动,造成实测风向有一定的角度偏差。自然界真风在短时间内可看作常矢量,不受船体运动的影响,由于船体转向,导致相对风向计量发生变化,依传统模型计算出来的真风也会发生相应变化,这种误差是由计算模型造成的,实际上,传统的平动式真风解算模型并不适用于船体转向时的真风计算,须对模型加以改进。

短时间内风向有一定的稳定性,传感器尾翼指向几乎不变,但船体转向时造成了传感器底座的转动,问题就转化为底座转动补偿问题。

如图7所示,船体由A位置转向到B位置时,转向角为 α ,因传感器底座零向位始终指向船艏,令底座的转动量(即零向位的改变量)为 β ,显然, $\beta=\alpha$ 。说明在转向过程中零向位改变量与迹向改变量相同,从而相对风向的零位应调整为以迹向为参考零位,角度补偿量为: $\Delta D=|D_{\text{迹向}}-D_{\text{船向}}|$,此处的航向应为调整过的测风传感器位置处的迹向,相对风速几乎不受影响。

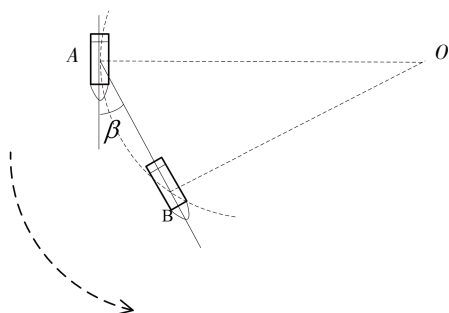


图7 船体转向底座零向改变量示意图

Fig.7 Schematic diagram of zero change to ship's base when steering

在平动真风解算模型中,认为航速航向组成的矢量即是航行风,传感器实测的风即是相对风,按照质点的平动运动合成规律来加以计算真风。在船体转向过程中的真风计算要复杂得多,航行风和相对风都要加以修正,转向时的真风计算方法应为:

$$\begin{aligned}\vec{V}_T &= \vec{V}_V - \vec{V}_H \\ &= (\vec{V}_V + \Delta \vec{V}_D) - (\vec{V}_H + \Delta \vec{V}) \\ &= (\vec{V}_V - \vec{V}_H) + (\Delta \vec{V}_D - \Delta \vec{H}) \\ &= \vec{V}_T + \delta\end{aligned}$$

式中: $\Delta \vec{V}_D$ 可理解为转向风; $\Delta \vec{H}$ 可理解为偏航风,转动时的真风应为平动模型计算出的真风基础上加上修正量; $\delta=(\Delta \vec{V}_D - \Delta \vec{H})$ 即为船体转动时的真风修正量。

5 海试数据分析

2018年8月随某船参加了航行试验,采用桨式测风传感器,在3~4级海况下,取得了大量实测数

据。这些数据受多种因素的干扰影响,有些甚至发生了畸变,如图8所示,实曲线是按常规方法计算得到真风,虚曲线表示航速,计算真风整体趋势是随航速的变化而变化。真风是自然界实际风,不应随航速而发生变化,一定时间内可视为常矢量。第一个框内是正常情况,真风与航速无关,第二个框可看出随航速增大,计算真风明显减小,这是非正常现象,说明受到了干扰影响,第三个框是采用本文推导的补偿算法修正。从图8中可以看出,经过补偿算法的修正,计算真风恢复到了正常水平,验证了本文补偿算法的正确性和适用性。

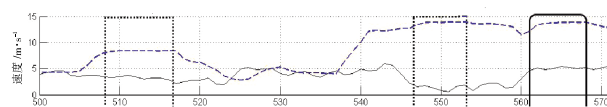


图8 校正模型某航次验证对比图

Fig.8 Calibration model validation comparison chart for a voyage

6 总结与展望

真风对船舶航行安全有重要的意义,但船舶在航行时,真风无法直接测量,仅能依靠矢量模型间接计算获取,计算真风的精度受多种因素影响,其误差来源主要有:航向航速源的选择、测风传感器自身精度、船舶运动姿态引起的相对风测量误差、设备干扰性影响等。以船舶转向过程为例,分析了航行风向和相对风向的参考零位变化,将二者加入运动补偿量,对平动式船舶真风解算模型进行适应性改进,完善了平动式与转动式真风解算模型的统一。

船舶航行风和相对风的测量误差可通过改进计量方式和设计补偿算法来修正减小,而气流遇主桅区相邻设备受阻产生的涡流对风测量的干扰性影响无法彻底消除,未来应在航行船舶主桅区风涡流特性方面展开研究。根据主桅区涡流模型,厘清主桅区设备组合布局、航速与产生的涡流强度及分布特性的关系,为船舶设计人员提供参考依据,将风速风向传感器布局到最合理位置,使涡流对风测量的干扰降到最低。

参考文献:

- [1] Moat B I. Quantifying the effects of airflow distortion on anemometer wind speed measurements from merchant ships [D]. University of Southampton, 2003.
- [2] Moat B I, Yelland M J, Molland A F. Possible biases in wind speed measurements from merchant ships [C]// 5th International Colloquium on Bluff Body Aerodynamics and Applications, Ottawa, Canada, 11–15 July 2004, 2004: 537–540.
- [3] Nacass P. Ship borne wind measurements corrected for airflow distortion by computational fluid [R]. Bretigny-sur-Orge: Centred Aviation Meteorologique, 2001:228–233.
- [4] Smith S R, Bourassa M A, Sharp R J. Establishing more truth in true winds[J]. Journal of Atmospheric & Oceanic Technology, 2010, 16(7):939–952.
- [5] M Johnson, C Hodgson. Wind sensor motion compensation systems and methods: United States, Patent 98218929[P]. 2017.
- [6] 江立军, 范云生, 王国峰. 船舶运动状态下超声波风速风向动态测量建模与分析[J]. 大连海事大学学报, 2014, 40(4):13–18.
JIANG Li-jun, FAN Yun-sheng, WANG Guo-feng. Modeling and analysis of dynamic measurement for ultrasonic wind speed and direction in the condition of ship motion[J]. Journal of Dalian Maritime University. 2014, 40(4):13–18.
- [7] 李志乾. 超声波式与螺旋桨式测风传感器数据对比分析[J]. 创新科技与生产力, 2015(3):55–56.
Li Zhi-qian. The data analysis between ultrasonic wind sensor and propeller wind sensor [J]. Innovative Science and Technology and Productivity, 2015, (3):55–56.
- [8] 姬延军, 王平. 某船舶航行状态螺旋式测风传感器风速误差分析[J]. 机械管理开发, 2015(2):28–33.
Ji Yanjun, Wang Ping. The Data Analysis between Ultrasonic Wind Sensor and Propeller Wind Sensor[J]. Mechanical Management and Development, 2015, (2):28–33.
- [9] 任晓文. 船舶摇摆速度对风向风速测量影响分析[D]. 大连: 大连海事大学, 2014.
Ren Xiaowen. The research on the Effects of the Speed of Hull Swing to the Measurement of Wind Speed and Wind Direction[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2014.
- [10] 郜冶, 谭大力, 李海旭, 等. 舰载风速仪测量误差与安装位置的关系研究[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2014, 35(10):1195–1200.
GAO Ye, TAN Dali, LI Haixu, et al. The relationship between the measurement error of shipborne anemometer and its installation location[J]. Journal of Harbin Engineering University, 2014, 35(10):1195–1200.
- [11] 王国峰, 赵永生, 范云生. 风速风向测量误差补偿算法的研究[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(4):786–790.
Wang Guofeng, Zhao Yongsheng, Fan Yunsheng. Research on error compensation algorithm for wind speed and direction measurement[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2013, 34(4):786–790.
- [12] 周亦武, 王国峰, 赵永生. 船舶摇摆状态下风速测量误差分析与补偿研究[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(6):1239–1245.
Zhou Yiwu, Wang Guofeng, Zhao Yongsheng. Research on error analysis and compensation of wind speed measurement for ships under swaying motions[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2014, 35(6):1239–1245.
- [13] 于永清, 范云生, 王国峰, 等. 船舶运动状态下风速风向测量补偿与数字仿真[J]. 计算机测量与控制, 2016, 24(10):32–35.
Yu Yongqing, Fan Yunsheng, Wang Guofeng, et al. Compensation and digital simulation for measurement of wind speed and direction with ships motion[J]. Computer Measurement & Control, 2016, 24(10):32–35.
- [14] 张永刚, 焦林, 张健雪. 一种船舶风向风速测量仪误差修正方法: CN, 103308722 A[P]. 2013.
- [15] 赵永生, 罗虎, 王国峰, 等. 一种带有运动姿态补偿的风速风向动态测量方法及装置: CN, 104316721A[P]. 2015.
- [16] 李志乾, 崔天刚, 胡桐, 等. 船舶真风解算的误差影响分析及修正方法[J]. 海洋技术学报, 2017, 36(1):86–91.
LI Zhi-qian, CUI Tian-gang, HU Tong, et al. Research on the error analysis and correction method for the calculation model of the ship's true wind[J]. Journal of Ocean Technology, 2017, 36(1):86–91.

Analysis on the Error Source for Ocean Ship's True Wind

LI Zhi-qian, QI Sui-ping, HU Tong, ZOU Jing, GUO Yan-ping, WANG Dong-ming

Shandong Provincial Key Laboratory of Marine Monitoring Instrument Equipment Technology, National Engineering and Technological Research Center of Marine Monitoring Equipment, Institute of Oceanographic Instrumentation, Qilu University of Technology (Shandong Academy of Sciences), Qingdao 266061, China

Abstract: True wind plays an important role in meteorological navigation for ships sailing on the sea. If the true wind can not be measured accurately, it may result in miscarriage of justice for navigators, and then affect the safe navigation of ships. However, the true wind can not be measured directly on ships and other moving platforms, and can only be obtained indirectly by vector model calculation. According to the true wind calculation model and error propagation law, the true wind error model of ship is deduced. In the vector model, the true wind errors of navigating ships mainly come from the measurement errors of ship wind and relative wind. The measurement errors of ship wind are mainly caused by the selection of ship's speed and course. The measurement errors of relative wind mainly include sensor accuracy, installation error, platform attitude influence and systematic interference error. Taking the steering process of a ship as an example, the variation law of sailing wind and relative wind is analyzed in this paper. Combining with the hull motion attitude and adding the motion compensation correction, a real wind compensation model for ship steering is established.

Key words: ship true wind calculation model; ship wind; apparent wind; true wind error