

文章编号:1006-7736(2014)01-0070-04

风翼助航船舶典型航次节能潜力计算

冯宝辉, 黄连忠, 马冉祺, 赵志强
(大连海事大学 轮机工程学院, 辽宁 大连 116026)

摘要:选取49 000载重吨的散货船作为目标船,对于拟安装辅助风翼助航的目标船进行受力情况分析,选择一种具有较好空气动力性能的硬质翼型帆作为目标船辅助风翼.根据目标船舶典型航次航海日志和轮机日志的参数记录,选取适宜使用风翼助航的典型航段,采用加权平均方法计算目标船在该航段内使用风翼辅助的推进功率,推算目标船在该航段内能够节省燃油消耗6.19%~9.59%,说明风翼助航船舶在该典型航线上的节能潜力是巨大的.

关键词:船舶;典型航线;风翼助航;风翼助推功率;节能潜力

中图分类号:U674.925

文献标志码:A

Wing-assisted vessel's energy saving potential calculation on typical route

FENG Bao-hui, HUANG Lian-zhong,
MA Ran-qi, ZHAO Zhi-qiang
(Marine Engineering College, Dalian
Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: A 49 000 DWT bulk carrier was chosen as the target vessel, and the force analysis for the target wing-assisted vessel was carried out. The rigid wing with good aerodynamic performance was chosen as the assisted wing. The selected typical route was suitable to use assisted wing according to the relevant parameters record of the deck logbook and engine logbook. In the target route segment, wings' assisted propulsion power was calculated in which the method of weighted average was adopted. It is calculated that the target vessel can save fuel oil from 6.19% to 9.59%, which indicates that the energy saving potential of the target vessel is huge.

Key words: vessel; typical route; wing-assisted; wings' assisted propulsion power; energy saving potential

0 引言

航运业的节能减排技术已经引起国际社会的高度重视^[1],而风帆助航技术被认为是船舶节能的最佳方法^[2-3].风翼的最大特点是空气动力性能较传统风帆更佳,最大推力系数可达1.6~1.7^[4].在保持船舶航速不变情况下,通过安装辅助风翼为船舶前进提供辅助推力,从而降低燃油消耗.本文选择我国沿海航行密集典型航次,根据航海日志和轮机日志相关记录,采用分航段分析、加权平均的方法计算目标船节能潜力.

1 风翼助航船舶受力分析

风翼助航船舶在航行中,受到的力可分为螺旋桨推力、水线以上船体受到的空气作用力、水对浸水船体的阻力以及风场对风翼的作用力.船体和风翼受到横向力的作用,为使船舶保持原航向,需要转动舵叶以克服横向力,如此会使船舶中线与航向之间产生一个夹角,即漂角.同时,又产生了舵的附加力.

1.1 风对水线以上船体的作用力 F_{WH} ^[5]

$$F_{WHX} = C_{WHX} \cdot \frac{1}{2} \rho_a v^2 S_X \quad (1)$$

$$F_{WHY} = C_{WHY} \cdot \frac{1}{2} \rho_a v^2 S_Y \quad (2)$$

其中: C_{WHX} 为船体风阻力系数; C_{WHY} 为风的横向力系数; ρ_a 为空气密度; v 为相对风速; S_X 、 S_Y 分别为水线以上船体纵向、横向投影面积.

1.2 风场对风翼作用力 F_{WS}

$$F_{WSX} = C_{WSX} \cdot \frac{1}{2} \rho_a v^2 S_S \quad (3)$$

收稿日期:2013-07-25.

基金项目:国家高技术研究发展计划(863)资助项目(2012AA112702).

作者简介:冯宝辉(1988-),男,硕士生,E-mail:fengbaohui88@126.com.

通信作者:黄连忠(1969-),男,博士,教授,E-mail:huanglianzhong@163.com.

$$F_{WSY} = C_{WSY} \cdot \frac{1}{2} \rho_a v^2 S_s \tag{4}$$

其中: C_{WSY} 为风翼推力系数; C_{WSY} 为风翼横向力系数; S_s 为风翼面积.

1.3 水对浸水船体作用力 F_H ^[3,6]

$$F_{HX} = F_0 (1 + 13\beta^2) \tag{5}$$

$$F_{HY} = \frac{1}{2} \rho_w L_w d v_s^2 [(\pi \frac{d}{L} + 1.4 C_B \frac{B}{L}) \beta + 2(C_B - 0.25)(2C_w - 1)\beta | \beta |] \tag{6}$$

其中: F_0 为漂角为 0° 时水对浸水船体作用力; β 为漂角; ρ_w 为水密度; L_w 为水线长; d 为吃水深度; v_s 为船速; L 为船舶垂线间长; B 为船宽; C_B 为方形系数; C_w 为水线面系数.

1.4 水对舵叶作用力 F_R ^[4]

$$F_{RX} = -52.3 S_R v_s^2 (1 - \omega)^2 \cdot \frac{6.13\lambda}{\lambda + 2.25} (1 + 3.6 S_r^{1.5}) \sin^2 \delta \tag{7}$$

$$F_{RY} = 52.3 S_R v_s^2 (1 - \omega)^2 \cdot \frac{6.13\lambda}{\lambda + 2.25} (1 + 3.6 S_r^{1.5}) \sin \delta \cos \delta \tag{8}$$

其中: S_R 为舵叶面积; ω 为伴流系数; λ 为舵叶剖面展弦比; S_r 为滑失比; δ 为舵角.

除上述四组受力外,船舶还受到螺旋桨推力作用.对比加装风翼前后受力情况可知,风翼引起船舶姿态变化,表现的受力影响是水对船体作用力 F_H 、水对舵作用力 F_R 和风翼受力 F_{WS} .

2 目标船典型航次分析

目标船航线:从镇江港出发,沿长江经上海,再北上直行,绕过山东半岛,到达京唐港锚地.通过查看航海日志和轮机日志中关于主机工况、船舶经纬度和风向风速等参数记录,可确定在船舶驶出长江入海口至山东半岛前航段接近定速定向航行,且风场条件较稳定,适合使用风翼助航.

选择具有典型特征的航次为,夏季某日 0 时至 24 时,记为“0000—2400”.根据该日期航行日志记录,确定航段始终点经纬度(N 31°11'2", E 122°32'4";N 36°28'7",E 122°54'6"),在地图上搜寻两点位置(图 1),两点直线距离 589.48 km,约 318.29 n mile.

通过查询航海日志记录,确定在该航段内,船舶各时刻的经纬度、航向调整和风速风向情况,如表 1 所示.分析表 1 数据,以风速风向改变为条件,以时间和经纬度为节点,可以确定四个分航

段、五个节点,各分航段和节点如图 2 所示.各分航段相关信息如表 2 所示.

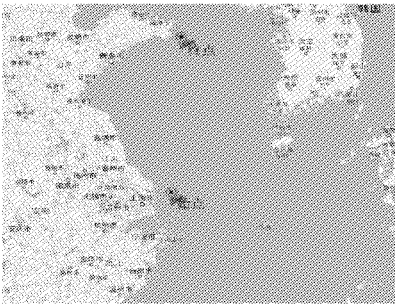


图 1 选择航段的始、终点

Fig.1 The beginning and ending of the chosen route segment

表 1 船舶定位、航向和风向风速信息

Tab.1 The information of the vessel's location, course, wind direction and speed

时间	经纬度	航向	风向风速
0000	N 31°11'2", E 122°32'4"	019	S 4
0200	N 31°34'5", E 122°42'1"	019	—
0355	N 32°00'0", E 122°53'0"	359	S 3
0400	N 32°02'3", E 122°53'4"	359	—
0800	N 32°55'8", E 122°53'1"	001	E 4
1000	N 33°21'2", E 122°54'1"	006	—
1200	N 33°46'7", E 122°53'8"	001	E 4
1412	N 34°17'0", E 122°54'8"	359	—
1600	N 34°40'7", E 122°54'6"	359	E 3
1800	N 35°08'2", E 122°54'6"	359	—
2000	N 35°35'1", E 122°54'2"	359	E 3
2200	N 36°02'2", E 122°53'9"	359	—
2400	N 36°28'7", E 122°54'6"	359	E 3

注:S 代表南风,E 代表东风,—代表默认与前一记录相同.

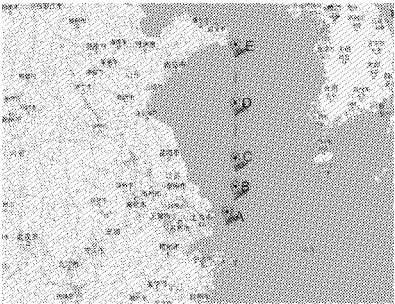


图 2 航段划分

Fig.2 The division of route segments

设定向北为 0° 或 360° ,沿顺时针逐渐增加,向东为 90° ,向南为 180° ,3 级风相当于 5.40 m/s ,4 级风相当于 7.90 m/s .结合表 1 和表 2 中各分航段的航速航向和风速风向,可以确定对应分航段的相对风速和风向.

在第一分航段内,航向 19° ,航速 6.86 m/s ,绝对风速 7.90 m/s ,风向 0° ,通过矢量合成可得

表 2 各分航段相关信息

Tab. 2 The related information of every route segment

分航段	距离/km	平均航速 (m·s ⁻¹)	全航段 平均航速/ kn	相对风速 (m·s ⁻¹)	相对风向 (°)
1(A—B)	96.77	6.86	13.37	2.64	317.01
2(B—C)	102.29	6.96		1.56	180.00
3(C—D)	194.79	6.76		10.4	229.45
4(D—E)	200.38	6.96		8.81	217.80

相对风速 2.64 m/s, 相对风向为 317.01°(图 3). 同理, 可以确定其他分航段的相对风速和风向.

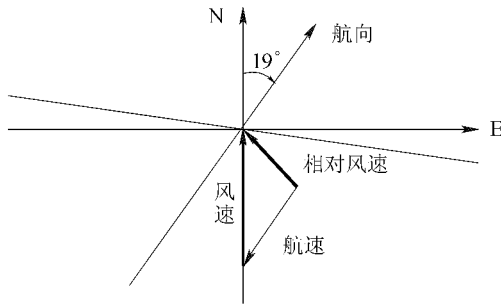


图 3 第一分航段的相对风速矢量合成

Fig. 3 The vectorial resultant of relative wind in the first route segment

3 风翼助推功率

目标船为适合安装辅助风翼的散货船, 总长 215 m, 49 800 载重吨, 设计航速 15 kn, 主要航线为我国沿海南北航线. 选取一种大升力风翼作为本轮拟安装风翼进行计算. 结合式(1)、(2)可以确定风翼推力, 结合各分航段航速, 可以确定推力功率, 并以时间比例为权重, 最终确定平均助推功率.

表 3 在各分航段的辅助推力和功率

Tab. 3 The assisted force and power in every route segment

分航段	相对风速/(m·s ⁻¹)	风向角β/(°)	推力/N	推力功率/kW	加权平均助推功率/kW
1(A—B)	2.64	118.01	11 867.16	81.41	351.39
2(B—C)	1.56	0	-212.72	—	
3(C—D)	10.4	49.45	100 287.84	677.95	
4(D—E)	8.81	37.80	48 328.32	336.37	

注: 由于风翼推力为阻力, 第 2 分航段不使用风翼

在计算上述风翼助推力时并未考虑三个风翼之间相互影响而引起风场的变化. 仿真计算证明, 在研究风速范围内, 由于多风翼之间的影响导致风翼助推力减额约为 8%^[7], 因此修正后的风翼助推功率约为 323.28 kW.

4 主机功率减额

螺旋桨推进功率减额(ΔP)为

$$\Delta P = \bar{P} - P_H - P_R \quad (14)$$

$$C_{WSX} = C_L \sin \beta - C_D \cos \beta \quad (9)$$

其中: C_{WSX} 为推力系数; C_L 为升力系数; C_D 为阻力系数; β 为相对风向角.

$$F_{WSX} = C_{WSX} \frac{1}{2} \rho_a S_s v^2 \quad (10)$$

风翼升力系数 C_L 和阻力系数 C_D 是风翼攻角 α 的函数, 因此当风向角 β 一定时, 推力系数 C_{WSX} 取决于攻角, 即 $C_{WSX} = f(\alpha)$. 当推力达最大时, 称对应的攻角为最佳攻角(α_{opt}).

$$F_{WSX_{max}} = C_{WSX}(\alpha_{opt}) \frac{1}{2} \rho_a S_s v^2 \quad (11)$$

针对一个风翼攻角, 便有一组升力系数和阻力系数, 当风向角固定时, 通过式(1)可得推力系数. 通过比较不同攻角对应的推力系数, 可确定最大推力系数及其对应的最佳攻角. 再通过式(3)便可确定最大推力(表 3). 最后, 根据式(4) 计算得到各分航段风翼助推功率.

$$P_i = F_{T_i} v_i / 1000, i = 1, 2, 3, 4 \quad (12)$$

其中, P_i 为各分航段风翼推力功率; F_{T_i} 为各分航段风翼推力; v_i 为各分航段平均航速.

为简化研究过程, 根据式(5), 采用加权平均的方法计算整个航段内的风翼平均助推功率(\bar{P}).

$$\bar{P} = \sum_{i=1}^4 t_i \cdot P_i / \sum_{i=1}^4 t_i \quad (13)$$

$$(i = 1, 2, 3, 4; P_2 = 0)$$

其中: t_i 为各分航段航行时间.

其中: \bar{P} 为风翼助推功率增益; P_H 为由于漂角产生的阻力功率增益; P_R 为舵角引起的阻力功率增益.

船体模型拖曳实验和相应计算表明, 当控制漂角和舵角在一定范围内时, 由此造成的阻力增益可忽略不计^[8-9]. 因此螺旋桨推进功率减额可表示为

$$\Delta P \approx \bar{P} \quad (15)$$

对于无风翼助航船舶, 其轴功率和船舶有效功率的关系为

$$P_E = P_S \cdot \eta_H \cdot \eta_o \cdot \eta_r \cdot \eta_s \tag{16}$$

其中: P_E 为船舶有效功率; P_S 为轴功率; η_H 为船身效率; η_o 为螺旋桨敞水效率; η_r 为螺旋桨相对旋转效率; η_s 为轴系效率.

$$\eta_H = (1 - t)/(1 - \omega) \tag{17}$$

其中: t 为推力减额分数; ω 为伴流分数.

通过查取目标船资料,方形系数 $C_B = 0.8403$,属于肥大型船舶, $t = 0.21$, $\omega = 0.35$. 根据式(17)得船身效率为1.22;推力减额系数 $\eta_s = 0.98$, $\eta_o = 0.57$, $\eta_r = 0.97$. 根据 $P_E = P_S \times 0.661$ 和修正后风翼助推力功率,可以确定主机轴功率减额 $\Delta P_S \approx 489.08 \text{ kW}$.

表 4 目标船实船试航报告(部分)

Tab.4 Partial trail report of the target vessel

主机负荷 (CMCR)	航向角 /(°)	相对风向 /(°)	相对风速 /(m·s ⁻¹)	水深 /m	轴转速 /(r·min ⁻¹)	轴功率 /kW	航速 /kn	平均轴功率 /kW	平均航速 /kn
50%	239.8	P10	1.6	>44.6	86	5029.37	13.97	5102.07	13.675
	59.2	P30	10.0	>44.2	86	5180.00	13.38		
	240	P10	3.0	>44.6	86	5018.90	13.97		
75%	240	P10	6.5	>45.3	99	7808.43	15.51	7902.22	15.368
	60	P40	9.5	>45	99	7982.71	15.27		
	240	P10	4.0	>42.5	99	7835.05	15.42		

5 结 论

通过对比航海日志关于海况、天气的记录和轮机日志中关于主机转速、工况参数记录,参考试航报告中记录(表4),可以确定本航段主机轴功率为5102.07~7902.22 kW.

设定柴油机热效率和推进系数基本不变,可以确定节省燃油6.19%~9.59%. 轮机日志记录主机当日耗油23.2 t,通过计算可节省燃油1.44~2.22 t. 经调查,本轮一个月需要航行类似航次8次,这样每月可节省燃油11.52~17.80 t,仅燃油一项每月可节约航行成本七八万人民币.

参考文献(References):

[1] 严新平. 新能源在船舶上的应用进展及展望[J]. 船海工程,2010,39(6):111-115.
YAN Xin-ping. Progress review of new energy application in ship [J]. Ship Ocean Engineering, 2010, 39(6): 111-115. (in Chinese)
[2] 任洪莹,黄连忠,孙培廷,等. 大型风帆助航船舶综合节能减排潜力分析[J]. 大连海事大学学报,2010, 36(1):27-30.
REN Hong-ying, HUANG Lian-zhong, SUN Pei-ting, et al. Comprehensive energy-saving and emission reduction potential of large sail-assisted ship [J]. Journal of Dalian Maritime University,2010,36(1),27-30. (in Chinese)
[3] 张仁颐. 中国沿海风帆助航节能的潜力[J]. 船舶工程,1993(6):4-8.
ZHANG Ren-yi. Energy-saving potential of sail-assisted

motor ships along the China's coast [J]. Ship Engineering,1993(6):4-8. (in Chinese)
[4] 李干洛,罗淮龙,谭政生,等. 节能船型设计[M]. 北京:国防工业出版社,1990:142.
[5] 张仁颐. 风帆助航节能船经济可行性探讨[J]. 船舶工程,1984(5):41.
ZHANG Ren-yi. Study on the economic feasibility of sail-assisted motor ship [J]. Ship Engineering, 1984(5): 41. (in Chinese)
[6] 名村秀树. 帆装商船の展望について[J]. 关西造船协会志,第182号,昭和56年:130.
MINGCUN Xiu-shu. The forecast of sail-assisted motor cargo ship [J]. Journal of the Kansai Society of Naval Architects,1981,182:130. (in Japanese)
[7] 杨龙霞. 风帆助航远洋船的翼帆性能及其机桨配合研究[D]. 上海:上海交通大学. 2013:49-50.
YANG Long-xia. Study on sail performance and engine-propeller matching of large ocean-going bulk carrier [D]. Shanghai:Shanghai Jiao Tong University, 2013: 49-50. (in Chinese)
[8] 任洪莹. 风翼助航船舶主动力装置特性研究[D]. 大连:大连海事大学,2012:17-19.
REN Hong-ying. Study on characteristics of wing-diesel-ship's main power plant [D]. Dalian:Dalian Maritime University, 2012:17-19. (in Chinese)
[9] 郭帅. 风帆优化及助航节能应用研究[D]. 大连:大连海事大学,2012:53-55.
GUO Shuai. Optimized design on ringsail and study on application of energy-saving of sail-assisted ship [D]. Dalian:Dalian Maritime University, 2012:53-55. (in Chinese)