

· 港口 ·



## 码头设计中船舶风荷载中英规范标准研究

叶银苗

(中船第九设计研究院工程有限公司, 上海 200063)

**摘要:** 基于国内外码头工程设计所采用的规范标准的不同, 船舶受力计算的方法也不同, 主要分析了基本公式、国内规范、英国规范和 OCIMF 关于船舶风荷载的计算方法, 并进行实例计算和结果分析, 旨在为码头工程设计人员提供参考。

**关键词:** 船舶; 风荷载; 风向角; 横向分力; 纵向分力

中图分类号: U 652.7<sup>+</sup>4

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)07-0046-05

### Comparison of wind force calculation acting on ships between British Standard and Chinese code for port design

YE Yin-miao

(China Ship-building NDRI Engineering Co., Ltd., Shanghai 200063, China)

**Abstract:** In order to give guidelines and recommendations for port designers, different approaches of wind force calculation, including general method, Chinese means, British Standard process and approach from OCIMF, are calculated and analyzed based on the practical case.

**Key words:** ship; wind force; angle of wind direction to ship's centerline; lateral or transverse wind force; longitudinal wind force

船舶在码头系泊时, 所受荷载是随着风、水流、波浪的大小和角度变化而变化的, 船舶的尺寸、形状和装载状态也是引起所受荷载变化的因素。

在码头的设计过程中, 船舶荷载是一项比较关键的因素, 而船舶所受到的风荷载又是船舶缆力中占比较大的部分, 所以准确计算船舶风荷载对于码头设计的合理性非常重要。在船舶风荷载的计算中, 所参照的规范标准不同, 其计算结果也有较大差异, 有必要将国内外不同规范标准对于船舶风荷载的计算方法作系统的比较分析, 掌握导致差异的原因。本文主要针对国内规范、英国规范和 OCIMF 关于船舶风荷载计算进行分析比较。

### 1 计算公式

#### 1.1 基本公式

物体受到的压力可表述为压强与受压面积的乘积, 同样, 物体受到的风荷载可以用下式计算:

$$P_w = A_w p \quad (1)$$

式中:  $P_w$  为风压力 (kN);  $A_w$  为物体受风面积 ( $m^2$ );  $p$  为风压 ( $kN/m^2$ )。但在实际应用中, 物体受到的风荷载与其本身的体形和高度有很大关系, 所以需要引入体形系数和高度系数<sup>[1]</sup>来修正式(1):

$$P_w = A_w p \mu_s \mu_z \quad (2)$$

式中:  $\mu_s$  为风荷载体形系数;  $\mu_z$  为风压高度变化系数。

风压可按下式确定<sup>[2]</sup>:

$$p = \frac{\rho_w}{2} v_w^2 = \frac{1}{1600} \times v_w^2 \quad (3)$$

收稿日期: 2013-12-02

作者简介: 叶银苗 (1979—), 男, 工程师, 主要从事船坞、码头等水工工程设计。

式中:  $\rho_w$  为空气密度, 20 °C 时为  $1.29 \text{ kg/m}^3$ ;  $v_w$  为风速 (m/s);  $g$  为重力加速度,  $9.81 \text{ m/s}^2$ 。所以, 得到以下计算风荷载的基本公式:

$$P_w = A_w \cdot \frac{1}{1600} \cdot v_w^2 \mu_s \mu_z \quad (4)$$

这里需要特别说明一下, 基本公式的演化表明了风荷载计算公式的含义, 但在实际应用中, 物体受到的风荷载受诸多因素的影响, 与基本公式的计算结果会有较大误差, 所以需要结合试验和实际经验对基本公式加以修正, 《港口工程荷载规范》关于船舶风荷载的计算方法就是对基本公式进行修正的结果。也正因为如此, 船舶受到的风荷载一般不采用基本公式计算, 但本文为了对比分析, 把基本公式也作为计算方法之一。

式(4)还不能直接应用到船舶受风荷载的计算中, 因为船舶靠泊码头上时需要分别计算纵向力和横向力, 所以对式(4)进行演化, 得到式(5)和式(6):

$$P_{xw} = A_{xw} \cdot \frac{1}{1600} \cdot v_x^2 \mu_s \mu_z \quad (5)$$

$$P_{yw} = A_{yw} \cdot \frac{1}{1600} \cdot v_y^2 \mu_s \mu_z \quad (6)$$

式中:  $P_{xw}$ ,  $P_{yw}$  分别为作用在船舶上的计算风压力的横向和纵向分力 (kN);  $A_{xw}$ ,  $A_{yw}$  分别为船体水面以上横向和纵向受风面积 ( $\text{m}^2$ );  $v_x$ ,  $v_y$  分别为设计风速的横向和纵向分量 (m/s)。

## 1.2 国内规范计算公式

根据 JTS 144-1—2010 《港口工程荷载规范》<sup>[1]</sup> 附录 E, 作用在船舶上的计算风压力垂直于码头前沿线的横向分力和平行于码头前沿线的纵向分力可按下列公式计算:

$$F_{xw} = 73.6 \times 10^{-5} A_{xw} v_x^2 \zeta_1 \zeta_2 \quad (7)$$

$$F_{yw} = 49.0 \times 10^{-5} A_{yw} v_y^2 \zeta_1 \zeta_2 \quad (8)$$

式中:  $F_{xw}$ ,  $F_{yw}$  分别为作用在船舶上的计算风压力的横向和纵向分力 (kN);  $A_{xw}$ ,  $A_{yw}$  分别为船体水面以上横向和纵向受风面积 ( $\text{m}^2$ );  $v_x$ ,  $v_y$  分别设计风速的横向和纵向分量 (m/s);  $\zeta_1$  为风压不均匀折减系数;  $\zeta_2$  为风压高度变化修正系数。通过比较不难发现, 式(7)和式(8)正是在式(5)和式

(6)的基础上进行修正而得到的。

## 1.3 英国规范计算公式

根据 British Standard BS 6349-1:2 000<sup>[3]</sup> 关于船舶所受风荷载的大小和方向可利用下式计算:

$$F_{TW} = C_{TW} \rho_A A_L v_w^2 \times 10^{-4} \quad (9)$$

$$F_{LW} = C_{LW} \rho_A A_L v_w^2 \times 10^{-4} \quad (10)$$

式中:  $F_{TW}$  为船首或船尾的横向风力 (kN);  $F_{LW}$  为纵向风力 (kN);  $C_{TW}$  为船首或船尾的横向风力系数;  $C_{LW}$  为纵向风力系数;  $\rho_A$  为空气密度, 取  $1.24 \text{ kg/m}^3$ ;  $A_L$  为船舶水线以上的侧面投影面积;  $v_w$  为海面上 10 m 高度处的设计风速。

英国规范把船舶受到的横向力拆分成船首和船尾两个横向力, 分别进行计算, 这是与国内规范的主要区别之一。

## 1.4 OCIMF 计算公式

根据 OCIMF “Mooring Equipment Guidelines”<sup>[4]</sup>, 船舶所受风荷载的横向风力和纵向风力可按下列式计算:

$$F_{XW} = \frac{1}{2} C_{XW} \rho_w v_w^2 A_T \quad (11)$$

$$F_{YW} = \frac{1}{2} C_{YW} \rho_w v_w^2 A_L \quad (12)$$

式中:  $F_{XW}$  为纵向风力 (N);  $F_{YW}$  为横向风力 (N);  $C_{XW}$  为纵向风力系数;  $C_{YW}$  为横向风力系数;  $\rho_w$  为空气密度, 取  $1.24 \text{ kg/m}^3$ ;  $A_T$  为船舶水线以上的纵向受风面积;  $A_L$  为船舶水线以上的横向受风面积;  $v_w$  为海面上 10 m 高度处的设计风速。该公式中风力计算结果单位为 N, 下文为方便比较, 计算结果已换算为单位 kN。

## 2 公式比较与分析

根据以上 4 组公式不难发现, 船舶受风荷载均可以分解为横向力和纵向力 (这对于码头的设计来说是有实际意义的, 因为码头结构计算中横向力与纵向力是有区别的, 这里不展开讨论), 4 组公式中均有受风面积  $A$  和风速的平方  $v^2$  作为因子, 但通过比较可以发现, 英国规范中横向力和纵向力的计算都采用了船舶侧向投影面积, 其他 3 组公式中纵向力的计算均采

用横向投影面积。

另外,基本公式和国内规范中,系数均为相对固定的值,风向角度的因素在风速的横向分量和纵向分量中考虑,也可以理解为  $v_x = v_w \sin\theta$ ,  $v_y = v_w \cos\theta$ , 这里  $\theta$  是风向与船舶纵轴之间的夹角。而英国规范和 OCIMF 的公式中,与风向角  $\theta$  有关的函数部分放在了风力系数里面,所以在用英国规范或 OCIMF 计算船舶风荷载的过程中,查询各项系数时需要特别考虑受风角度的因素。

### 3 实例计算分析

以上分析无法从公式层面提取更多的公共因子,留下系数部分来作比较,只有通过实例计算来分析各组公式的差异。

#### 3.1 假定计算条件

为直观分析比较,按 30 万 DWT 油船压载状态为例进行风荷载的计算,这里之所以考虑压载

状态是因为在压载状态下,停靠船舶所受的风力较满载状态更大。

30 万 DWT 油船压载状态主尺度参数为:总长 334 m,型宽 60 m,型深 31.2 m,吃水 10 m,水线以上高度 21.2 m,横向受风面积 8 180 m<sup>2</sup>,纵向受风面积 1 970 m<sup>2</sup>。

计算风速取 24.4 m/s,24.4 m/s 是 9 级风上限,也是国内一般码头上允许船舶停泊的最大风速。由于所有风荷载的计算方法中,最终所得结果均与计算风速的平方成正比关系,而本文主要讨论几种规范所规定的计算方法的差异性,风速的大小与这些差异没有因果关系,所以本文只取一种风速为例进行计算分析。计算风向角选取 0°,30°,60°,90°,120°,150°,180°。

#### 3.2 计算结果

表 1~4 为各公式中的系数取值及最终计算结果。

表 1 基本公式各系数取值及计算结果

风向角/ (°)	体型系数 $\mu_s$	高度系数 $\mu_z$	风速横向分量 $v_x/(m \cdot s^{-1})$	风速纵向分量 $v_y/(m \cdot s^{-1})$	横向受风面积 $A_{sw}/m^2$	纵向受风面积 $A_{yw}/m^2$	横向分力 $P_{sw}/kN$	纵向分力 $P_{yw}/kN$
0	1.0	1.42	0.00	24.40	8 180	1 970	0.0	1 040.9
30	1.0	1.42	12.20	21.13	8 180	1 970	1 080.5	780.7
60	1.0	1.42	21.13	12.20	8 180	1 970	3 241.6	260.2
90	1.0	1.42	24.40	0.00	8 180	1 970	4 322.2	0.0
120	1.0	1.42	21.13	-12.20	8 180	1 970	3 241.6	-260.2
150	1.0	1.42	12.20	-21.13	8 180	1 970	1 080.5	-780.7
180	1.0	1.42	0.00	-24.40	8 180	1 970	0.0	-1 040.9

表 2 国内规范各系数取值及计算结果

风向角/ (°)	横向风压不均匀 折减系数 $\zeta_{1x}$	纵向风压不均匀 折减系数 $\zeta_{1y}$	高度系数 $\zeta_1$	风速横向分量 $v_x/(m \cdot s^{-1})$	风速纵向分量 $v_y/(m \cdot s^{-1})$	横向受风面积 $A_{sw}/m^2$	纵向受风面积 $A_{yw}/m^2$	横向分力 $F_{sw}/kN$	纵向分力 $F_{yw}/kN$
0	0.6	0.98	1.42	0.00	24.40	8 180	1 970	0.0	799.8
30	0.6	0.98	1.42	12.20	21.13	8 180	1 970	763.5	599.8
60	0.6	0.98	1.42	21.13	12.20	8 180	1 970	2 290.4	199.9
90	0.6	0.98	1.42	24.40	0.00	8 180	1 970	3 053.9	0.0
120	0.6	0.98	1.42	21.13	-12.20	8 180	1 970	2 290.4	-199.9
150	0.6	0.98	1.42	12.20	-21.13	8 180	1 970	763.5	-599.8
180	0.6	0.98	1.42	0.00	-24.40	8 180	1 970	0.0	-799.8

注:按基本公式和国内规范计算,风向角在 90°~180°时,纵向力也为正值,为方便比较,人为加上负号以校正受力方向。

表 3 英国规范各系数取值及计算结果

风向角/ (°)	侧向投影 面积 $A_L/m^2$	计算风速 $v_w/(m \cdot s^{-1})$	空气密度 $\rho_A/(kg \cdot m^{-3})$	船首横风向力 系数 $C_{TW}(f)$	船尾横风向力 系数 $C_{TW}(a)$	纵向风力 系数 $C_{LW}$	船首横向分力 $F_{TW}(f)/kN$	船尾横向分力 $F_{TW}(a)/kN$	横向分力 $F_{TW}/kN$	纵向分力 $F_{LW}/kN$
0	8 180	24.4	1.24	0	0	1.18	0.0	0.0	0.0	712.6
30	8 180	24.4	1.24	1.4	0.9	0.62	845.4	543.5	1 388.9	374.4
60	8 180	24.4	1.24	2.4	1.9	0.2	1 449.3	1 147.4	2 596.7	120.8
90	8 180	24.4	1.24	2.2	2.6	0	1 328.5	1 570.1	2 898.7	0.0
120	8 180	24.4	1.24	1.25	2.72	-0.38	754.9	1 642.6	2 397.4	-229.5
150	8 180	24.4	1.24	0.4	1.8	-0.75	241.6	1 087.0	1 328.5	-452.9
180	8 180	24.4	1.24	0	0	-0.8	0.0	0.0	0.0	-483.1

表 4 OCIMF 公式各系数取值及计算结果

风向角/ (°)	计算风速 $v_w/(m \cdot s^{-1})$	空气密度 $\rho_w/(kg \cdot m^{-3})$	横向风力系数 $C_{yw}$	纵向风力系数 $C_{xw}$	横向受风面积 $A_L/m^2$	纵向受风面积 $A_T/m^2$	横向分力 $F_{yw}/kN$	纵向分力 $F_{xw}/kN$
0	24.4	1.24	0	0.6	8 180	1 970	0.0	436.3
30	24.4	1.24	0.45	0.55	8 180	1 970	1 358.7	399.9
60	24.4	1.24	0.8	0.28	8 180	1 970	2 415.5	203.6
90	24.4	1.24	0.99	0	8 180	1 970	2 989.2	0.0
120	24.4	1.24	0.9	-0.12	8 180	1 970	2 717.5	-87.3
150	24.4	1.24	0.5	-0.45	8 180	1 970	1 509.7	-327.2
180	24.4	1.24	0	-0.86	8 180	1 970	0.0	-625.4

3.3 计算结果汇总

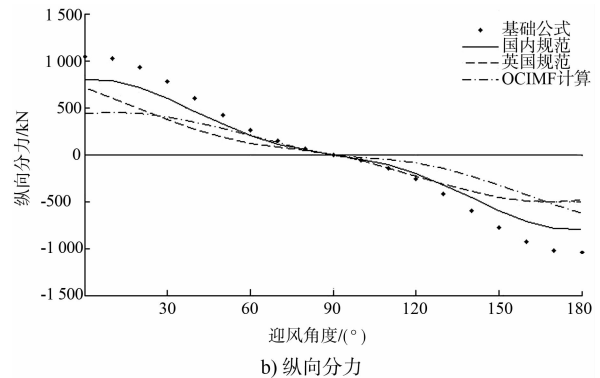
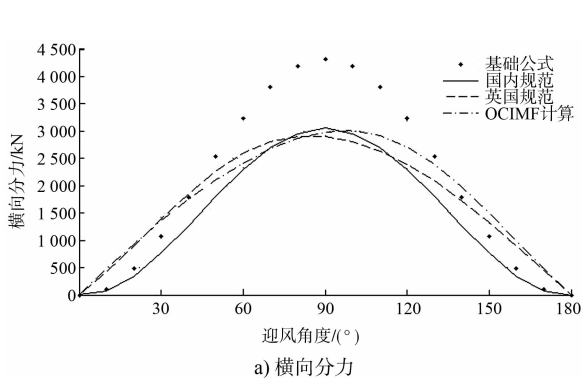
把以上计算结果绘制成图（图 1），可以直观

将以上 4 组公式的计算结果汇总见表 5。

反映各计算方法的差异。

表 5 计算结果汇总

风向角/ (°)	力/kN											
	横向分力				纵向分力				合力			
	基本公式	国内规范	英国规范	OCIMF	基本公式	国内规范	英国规范	OCIMF	基本公式	国内规范	英国规范	OCIMF
0	0.0	0.0	0.0	0.0	1 040.9	799.8	712.6	436.3	1 040.9	799.8	712.6	436.3
30	1 080.5	763.5	1 388.9	1 358.7	780.7	599.8	374.4	399.9	1 333.1	970.9	1 438.5	1 416.4
60	3 241.6	2 290.4	2 596.7	2 415.5	260.2	199.9	120.8	203.6	3 252.1	2 299.1	2 599.5	2 424.1
90	4 322.2	3 053.9	2 898.7	2 989.2	0.0	0.0	0.0	0.0	4 322.2	3 053.9	2 898.7	2 989.2
120	3 241.6	2 290.4	2 397.4	2 717.5	-260.2	-199.9	-229.5	-87.3	3 252.1	2 299.1	2 408.4	2 718.9
150	1 080.5	763.5	1 328.5	1 509.7	-780.7	-599.8	-452.9	-327.2	1 333.1	970.9	1 403.6	1 544.8
180	0.0	0.0	0.0	0.0	-1 040.9	-799.8	-483.1	-625.4	1 040.9	799.8	483.1	625.4



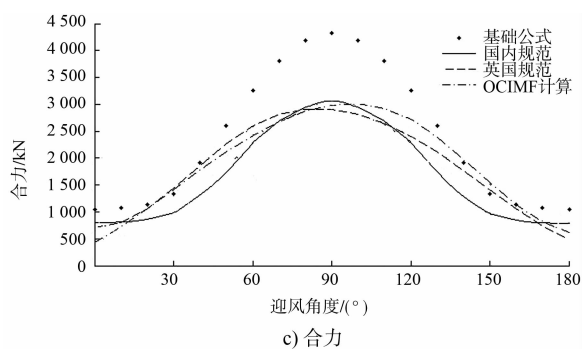


图1 结果汇总

### 3.4 计算结果比较

1) 风向角为 90°时, 横向分力最大, 纵向风力为 0, 此时合力也最大。

2) 风向角为 0°和 180°时, 横向分力为 0, 此时合力最小, 但纵向风力最大。

3) 基本公式的横向分力、纵向分力、合力均较其他 3 种计算方法大, 高度系数和体型系数的取值需要进一步斟酌修正。

4) 国内规范的计算结果成 90°线左右对称。

5) 国内规范相较于英国规范公式和 OCIMF 公式, 计算结果中横向分力总体较小, 但纵向分力总体较大, 在风向角接近 90°时, 三者的计算结果比较接近。

6) 英国规范公式与 OCIMF 公式的计算结果比较接近, 但在接近 0°和 180°时纵向分力差异较大。

7) 英国规范公式计算的纵向分力最大值出现在风向角为 0°时, 而 OCIMF 公式计算的纵向分力最大值出现在风向角为 180°时。

### 4 结语

1) 基本公式作为风荷载的计算理论依据, 与实际应用有一定的差异。

2) 国内规范公式中风向角对船舶受力的影响不够严谨, 系数的取值与风向在船首一侧或船尾一侧没有关联, 导致计算结果呈 90°线左右对称, 而实际情况中由于船舶首尾线型的不同, 上部结构的不同, 风荷载不可能严格按照 90°线左右对称, 但在工程设计时, 设计人员往往关心的是在设计风速下可能出现的极端荷载情况。

3) 英国规范公式与 OCIMF 公式中, 直接以设计风速而不是以风速的横向分量和纵向分量作为计算变量, 风向角的影响在系数中考虑, 这两种公式对于横向分力的计算结果总体上比较接近, 但是由于系数的取值不同, 导致风向角为 0°, 60°, 120°, 150°和 180°时, 纵向力的数值差异较大, 在遵循这两种公式计算时, 要注意船舶与设计风向的夹角。

### 参考文献:

- [1] JTS 144-1—2010 港口工程荷载规范[S].
- [2] Thoresen Carl A. Port Designer's Handbook: Recommendations and Guideline[M]. England: Thomas Telford, 2003: 38-50.
- [3] British Standard BS 6349, Maritime structures. Part I: Code of Practice for General Criteria[S]. London: BSI, 2000: 91-93.
- [4] OCIMF. Mooring Equipment Guidelines[M]. 3rd edition. Livingston, UK: Witherby Seamanship International, 2007: Appendix A. 26-28.

(本文编辑 武亚庆)

