

海上重大件货物受风力影响研究

王若琦^{1,2}, 兰培真^{1,2}

(1. 集美大学海上交通安全研究所, 福建 厦门 361021;
2. 交通安全应急信息技术国家工程实验室, 福建 厦门 361021)

[摘要] 为了快速确定海上重大件货物的受风力大小及其影响, 根据海上重大件货物受风力计算的特点和 CSS (code of safe practice for cargo stowage and securing) 规则, 将海上重大件货物进行分类。应用中国船级社 (CCS) 规范、挪威船级社 (DNV) 规范和 Blendermann 方法, 对船公司常见的重大件货物进行受风力计算。研究表明, CCS 规范和 DNV 规范更适用于外形平整规则的重大件货物受风力计算, 而其他不规则的重大件货物则可优先考虑应用 Blendermann 方法进行受风力计算。

[关键词] 海上重大件货物; 绑扎系固; 受风力计算; Blendermann 方法

[中图分类号] U 695.2⁺6

Study on Classification of Heavy and Large Cargoes at Sea and Influence of Wind Force

WANG Ruoqi^{1,2}, LAN Peizhen^{1,2}

(1. Institute of Maritime Traffic Safety, Jimei University, Xiamen 361021, China;
2. National Engineering Laboratory for Traffic Safety Emergency Information Technology, Xiamen 361021, China)

Abstract: To determine the impact of wind force on heavy and large cargoes at sea and its value accurately, this article classifies heavy and large cargoes at seas according to the characteristics of wind calculations and the basis of CSS rules for cargo classification. With the application of the CCS Standard, DNV Standard and Blendermann method respectively, the wind load is calculated on heavy and large cargoes regularly seen by shipping companies. The results show the CCS and DNV standards are more applicable to calculate wind load on heavy and large cargoes with regular shapes, while the Blendermann method is more suitable for those with irregular shapes.

Keywords: heavy and large cargo at sea; binding and fastening; wind load calculation; Blendermann method

0 引言

随着全球经济的快速发展和装备制造业水平的提高, 越来越多的货物呈现出大型化和重型化的发展趋势^[1]。在重大件货物运输过程中, 对重大件货物进行有效绑扎和系固是保证货物运输安全的首要前提。为确保海上货物绑扎系固方案的有效性和经济性, 必须对货物可能的受风力情况进行分析和判定。对重大件货物进行风洞试验可得到最为可靠的风力数据, 但是风洞试验实验周期长、实验成本

[收稿日期] 2017-11-25

[修回日期] 2017-04-28

[作者简介] 王若琦 (1991—), 女, 硕士生, 主要研究方向为交通运输规划与管理。通信作者: 兰培真 (1962—), 女, 教授, 博士, 从事交通信息工程及控制、海上交通安全研究, E-mail: peizlan@163.com。

高^[2]，并不适用于船载重大件货物的风力计算。国内外学者和机构对海上相关的各类结构物的风力计算进行了研究，并形成了一系列的规范和计算公式。其中廖建清^[3]应用《货物系固手册编制指南》的规范要求，并结合集装箱桥吊海上运输实践，推导出集装箱桥吊海上运输过程中整体及重要部位受风力计算公式。Gould^[4]针对船舶的上层建筑，讨论研究了海风对于船舶相对速度的影响，并提出一种对数方式来描述风速；刘亚冲等^[5]应用 fluent 软件针对超大型集装箱船建立模型，计算水面以上船体模型表面所受风压情况，为船舶稳性设计和校核提供参考；许多国家船级社在海上平台设计计算载荷的研究中取得了一系列的研究成果^[6]，其计算结果的可信度也越来越高。2016 年，中国船级社重新修订了《海上平台入级规范》^[7]，对海洋平台设计载荷的风载荷设计中，考虑到了平台在不同倾斜程度下的投影面积、受风构件距离水面的垂直高度以及受风构件的形状因素影响，并给出不同形状受风构件的参考系数值。

Blendermann^[8]归纳出船舶受风时横纵方向的受风载荷系数；岳晓瑞等^[9]证实了 Blendermann 计算方法的结果同实际的实验结果较为吻合。鉴于海上重大件货物在运输中的环境同海上平台比较相似，本文借鉴中国船级社（CCS）和挪威船级社（DNV）的海上平台风力计算规范，调研了大量海上重大件货物成功绑扎系固方案，在 CSS 规则货物分类的基础上，根据受风力计算的特点，将海上常见重大件货物进行分类，对于船公司常见的重大件货物，应用 Blendermann 计算方法、CCS 规范和 DNV 规范对其进行受风力计算，并与船公司经验值进行比较，得出不同类型海上重大件货物受风力计算的适用规范与方法。

1 风力计算

1.1 CCS 风力计算

CCS 规范中风压 P 及风力 F 具有如下关系^[7]：

$$P = 0.613 \times 10^{-3} V^2; \tag{1}$$

$$F = C_h C_s S P. \tag{2}$$

式中： V 为设计风速， m/s ； S 为受风货物的正投影面积， m^2 ； C_h 为受风货物的高度系数，该值可以根据货物高度 h （货物型心到设计水面的垂直距离）来确定； C_s —受风货物形状系数，其主要外形取值为：球形为 0.4；圆柱形为 0.5；大的平面（船体、甲板室、平滑的甲板下表面）为 1.0；甲板室群或类似结构为 1.1；钢索为 1.2；井架为 1.25；甲板下暴露的梁和桁材取值为 1.3。

1.2 DNV 风力计算

DNV 规范中风压 q 和风力 F_w 的计算公式^[10]为：

$$q = \rho v_z^2 / 2; \tag{3}$$

$$F_w = C_s q A \cdot \sin \vartheta. \tag{4}$$

式中： ρ 为空气密度， 1.23 kg/m^3 ； v_z 为水平面以上高度 z 处的平均风速； A 为垂直于来风方向构件的投影面积， m^2 ； ϑ 为暴露的构件或者其表面与风向间夹角； C_s 为受风货物形状系数，取值可参考 CCS 规范的形状系数值。

在无有效遮挡时，基本风压 P_w 按式（5）计算：

$$P_w = \pm C_p q. \tag{5}$$

其中： C_p 为风压系数。

1.3 Blendermann 方法风力计算

Blendermann 在风洞试验的基础上搜集了大量关于风力的数据，对横向、纵向以及首摇数据进行统计分析，并提出风力系数计算公式，这种方法主要细化了重大件货物受到横向和纵向的风载荷系数^[11]，具体公式如下：

$$C_x = -C_{dl} (A_L/A_F) (\cos \theta / (1 - \delta (1 - C_{dl}/C_{dq}) \sin^2 (2\theta) / 2)); \tag{6}$$

$$C_Y = C_{dq} \sin \theta / (1 - \delta (1 - C_{dl} / C_{dq}) \sin^2 (2\theta) / 2)。$$

(7)

式中: C_X 为纵向 (正面) 风力系数; C_Y 为横向 (侧面) 风力系数; C_{dl} 、 C_{dq} 、 δ 分别为与船舶类型相关的参数; θ 为风向角; A_L 、 A_F 分别为侧面、正面的受风投影面积。

在求得货物受风的横向、纵向风力系数后, 横向、纵向受风力为:

$$X = C_X \times (q \times A_F);$$

(8)

$$Y = C_Y \times (q \times A_L)。$$

(9)

式中: X 为货物纵向 (正面) 受风力; Y 为货物横向 (侧面) 受风力; $q = \rho / 2u^2$, 其中 u 为风速, ρ 为空气密度, 取值为 1.23 kg/m^3 。

2 常见货物分类及受风力计算值比较

1991 年版的 CSS (code of safe practice for cargo stowage and securing) 规范将非标准化系固和积载的重型货物分为 12 类^[12], CSS 规范对上述 12 类货物的积载和系固进行了分类和要求, 但目前还有许多 CSS 规范之外的非规则货物, 如渡轮、渔船、游艇、风叶等, 这类货物 CSS 未提出有针对性的系固解决方法。

通过对船公司大量海上重大件货物成功绑扎系固方案的研究分析, 结合 CSS 规范中涉及的重大件货物分类, 考虑受风力计算中货物的尺寸和外形等特点, 以及积载和系固的具体要求, 将海上装载在露天甲板上的常见重大件货物划分为 5 类, 具体分类如下:

1) 渡轮类; 2) 风叶类; 3) 风电塔筒、罐柜及装载在甲板上的圆柱形容器类; 4) 集装箱、轮载 (滚动) 货物、机车类; 5) 渔船类。

根据以上分类结果, 选取 5 种货物作为各类货物的代表, 对它们进行绑扎系固受风力分析, 具体数据如下:

1) 462 t 渡轮, 总长 78.4 m, 宽 14.4 m, 高度 13 m, 重心高度为 4.89 m, 其横向受风面积为 $1\,019.2 \text{ m}^2$, 纵向受风面积为 187.2 m^2 。

2) 43.5 t 的三层堆放风叶, 总长 53.5 m, 宽 2.8 m, 高度 9.3 m, 重心高度为 4.75 m, 其横向受风面积为 497.55 m^2 , 纵向受风面积为 26.04 m^2 。

3) 116 t 的两层堆放风电塔筒, 总长 31.36 m, 宽 4.32 m, 高度 9.65 m, 重心高度为 4.61 m, 其横向受风面积为 302.62 m^2 , 纵向受风面积为 41.688 m^2 。

4) 15 t 大巴车辆, 总长 12 m, 宽 3 m, 高度 3 m, 重心高度为 1.6 m, 其横向受风面积为 36 m^2 , 纵向受风面积为 36 m^2 。

5) 166 t 渔船, 总长 32 m, 宽 5.7 m, 高度 8 m, 重心高度为 3.5 m, 其横向受风面积为 256 m^2 , 纵向受风面积为 45.6 m^2 。

应用 CCS 规范、DNV 规范及 Blendermann 方法计算出 5 种货物各自的受风力值, 计算结果如表 1 所示。

另外, 船公司积累了大量重大件货物运输绑扎系固经验, 它们在 IMO 规定的基础上综合考虑运输安全保障和绑扎系固成本, 从中提炼出不同重大件货物受风力计算的的经验系数, 对 5 种货物进行受风力计算, 得到安全经济的横向受风力和纵向受风力值, 结果如表 1 所示。表 1 中船公司经验值是通过船公司相关运输项目实地调研收集得到, 该经验值已多次在实际运输中成功应用, 其安全性已得到充分验证, 可以作为 CCS 规范、DNV 规范及 Blendermann 方法计算结果进行比较的参考基准值。

由表 1 可知, CCS 规范与 DNV 规范的计算结果比较接近, 此外, 大巴车辆的 CCS 规范和 DNV 规范的计算结果最接近船公司经验值, 而渡轮、风叶、风电塔筒和渔船的 Blendermann 方法计算值则比两个规范更接近船公司的经验值。

表 1 受风力计算结果比较
Tab. 1 Comparison of calculation results under wind

	横向受风力 Transverse wind					纵向受风力 Longitudinal wind					kN
计算方法 Calculation method	渡轮 Ferry steamer	渔船 Fishing boat	风电塔筒 (两层堆装) Wind power tower(two layer stack)	大巴 Bus	风叶 (三层堆装) Wind blade (three layer stacking)	渡轮 Ferry steamer	渔船 Fishing boat	风电塔筒 (两层堆装) Wind power tower(two layer stack)	大巴 Bus	风叶 (三层堆装) Wind blade (three layer stacking)	
CCS 规范 CCS Standard	499.8	125.6	148.4	35.3	160.3	91.8	22.3	28.7	8.8	11.1	
DNV 规范 DNV Standard	501.4	126.0	148.9	35.4	160.8	92.1	22.4	28.8	8.8	11.1	
Blendermann 方法 Method	754.0	160.8	197.8	23.6	197.1	176.0	28.1	25.6	13.5	12.7	
船公司经验 值 Ship company experience value	815.4	153.6	211.8	36.0	201.2	149.8	27.4	29.2	9.0	13.9	

3 海上重大件货物运输受风力计算方法的比较

IMO 规定在计算货物受风时的风压均取 1 kPa，这个数值相对实际海上运输来说偏大，若将所有货物的表面视为平面，求出其投影面积再依此计算风压力，这样计算得到的结果往往比实际运输中的货物受风力大很多，以此数据进行绑扎系固会造成人力物力的较大浪费。为此，船公司根据实际运输中的绑扎经验，在满足 IMO 规范要求并确保货物运输安全的前提下，总结出不同重大件货物受风力计算的系数，求得更经济且足够保证安全的风力计算值，但船公司的经验值不便于推广应用，亟待理论的提升。CCS 规范和 DNV 规范的适用对象原为海洋平台，因其与无遮挡绑扎系固在船舶甲板面上的重大件货物的运输环境类似，因此其风载荷设计对于海上重大件货物的风力计算具有较高的参考价值。Blendermann 方法是在大量船舶风洞实验数据的基础上，归纳总结出风力对于船舶横纵方向的系数计算方法，因此可借鉴 Blendermann 方法来计算海上重大件货物的受风力，但局限于船舶实验的影响，这种方法并不适用于所有类型的海上重大件货物的风力计算，此方法的应用需注意船舶类型的选择。

从表 1 可知，CCS 规范和 DNV 规范在计算大巴车辆受风力时的数值最接近船公司经验值，因为大巴车辆的外形最为规则平整，变化较少，适合规范中的类别；但应用规范计算其他不规则重大件货物时，虽然两个规范的公式中都涉及到了形状系数的影响，但规范中给出的形状系数类别少，不够细化，因此导致其计算结果与船公司经验值的差距较大。Blendermann 方法在计算渡轮、风电塔筒、风叶和渔船的受风力时的结果较为接近船公司经验值，但在计算平整规则的重大件货物（如大巴车辆）时，横向受风力偏小，纵向偏大，计算结果不如 CCS 规范和 DNV 规范的结果适用。

重大件货物不同于普通船载货物，由于货物的特殊性，在将其绑扎系固在船舶上时对稳定性的要求非常高，海上航行时必须将船舶和货物视为一个整体来看待，因此货物受风力的计算结果决定了绑扎系固方案的制定，也决定了船舶的航行安全。为方便货物受风力的计算，根据前面的研究结果，将 5 类重大件货物的受风力计算方法归纳如下：渡轮类适合 Blendermann 计算方法；风叶类适合 Blendermann 计算方法；风电塔筒、罐柜及装载在甲板上的圆柱形容器类适合 Blendermann 计算方法；集装

箱、轮载(滚动)货物、机车类适合 CCS 规范和 DNV 规范的计算方法;渔船类适合 Blendermann 计算方法。

4 结论

货物受风力计算值是海上重大件货物绑扎系固方案制定的重要依据,是船舶运输安全保障的重要因素之一。将海上重大件货物进行分类,并研究了各类别货物的受风力计算规范与方法。研究结果表明,CCS 规范和 DNV 规范更适用于外形平整规则的重大件货物受风力计算,而对于其他不规则的重大件货物则可优先考虑应用 Blendermann 方法进行受风力计算。

[参 考 文 献]

[1] 孙丽娜. 3×10^4 t 大件运输船总体设计分析 [J]. 船舶与海洋工程, 2015, 31(5): 11-16.

[2] 郑杰民, 李力游. 风载荷计算中的几个取值问题 [J]. 建筑机械, 1994(10): 21-23.

[3] 廖建清. 集装箱桥吊海上运输主动力计算分析 [J]. 集美大学学报 (自然科学版), 2003, 8(4): 367-373.

[4] GOULD R. The estimation of wind loads on ship superstructures [J]. The Royal Institution of Naval Architects, 1982, 62(8): 34-40.

[5] 刘亚冲, 胡安康, 韩凤磊, 等. 超大型集装箱风载荷系数研究 [J]. 武汉理工大学学报, 2014, 36(4): 80-85.

[6] 谷家扬, 杨玉鹏, 徐博均, 等. 基于不同国家规范的半潜式钻井服务支持平台风载荷计算及对比研究 [J]. 江苏科技大学学报 (自然科学版), 2017, 31(1): 1-5.

[7] 中国船级社. 海上移动平台入级与建造规范 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2016.

[8] BLENDERMANN W. Estimation of wind loads on ships in wind with a strong gradient [J]. Omae, 1995(1): 271-277.

[9] 岳晓瑞, 徐海洋, 罗薇, 等. 海洋工程结构物风载荷计算方法比较 [J]. 船海工程, 2012, 41(1): 453-456.

[10] DNV. Recommended practice det novske veritas DNV - RP - C205, Environmental conditions and environmental loads [S]. DNV, (APKIL), 9-123.

[11] BLENDERMANN W. Parameter identification of wind loads on ships [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1994, 5(13): 339-351.

[12] 国际海事组织. 货物积载和系固安全实用规则 [S]. 北京: 人民交通出版社, 1991.

(责任编辑 陈 敏 英文审校 周云龙)