



海船在风流作用下 码头系泊应急标准确定方法

刘智豪¹, 刘钊^{1,2}, 罗辰汉¹, 闵正麟¹, 孙建庭³, 张敏⁴

(1. 武汉理工大学 航运学院, 内河航运技术湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430063;

2. 水路交通控制全国重点实验室, 湖北 武汉 430063;

3. 山东省烟台港引航站龙口分站, 山东 烟台 265700; 4. 广州航海学院, 广东 广州 510725)

摘要: 针对海港船舶因防风撤离码头导致在港时间增加的问题, 进行海船在风流作用下码头系泊应急标准研究。以《海港总体设计规范》、《港口工程荷载规范》和码头系缆及防撞设施的设计标准为基础, 采用受力因素分析方法、风流荷载耦合计算方法确定海港船舶在码头防风应急的标准; 以我国沿海某煤码头为例进行分析, 得出设计代表船型根据该标准在风流耦合条件下能够安全系泊及撤离的结果。结论是: 3.5万吨级散货船在9级风时应该撤离码头、5.0万吨级散货船在8级风时应该撤离码头。研究成果有助于解决船舶因防风撤离码头而导致船舶在港时间增加的问题, 可为海港船舶码头防风应急标准和防风应急预案的确定提供支持。

关键词: 港口; 船舶; 防风应急; 系缆力; 风流荷载

中图分类号: U653.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)02-0063-09

Emergency mooring standards determination method for seagoing ships at docks under influence of wind and current

LIU Zhihao¹, LIU Zhao^{1,2}, LUO Chenhan¹, MIN Zhenglin¹, SUN Jianting³, ZHANG Min⁴

(1. Hubei Key Laboratory of Inland Shipping Technology, School of Navigation, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China;

2. State Key Laboratory of Maritime Technology and Safety, Wuhan 430063, China;

3. Longkou Branch Station, Yantai Port Pilot Station, Yantai 265700, China; 4. Guangzhou Maritime University, Guangzhou 510725, China)

Abstract: To the issue of increased port stay times for harbor vessels due to wind avoidance and evacuation from docks, research is conducted on the emergency mooring standards of sea vessels at docks under the influence of wind and current. Based on the *General Layout Design Code for Sea Ports*, *Load Code for Harbour Engineering*, and the design standards for dock mooring lines and collision prevention facilities, force factor analysis methods and wind-current load coupling calculation methods are used to determine the emergency wind avoidance standards for harbor vessels at docks. Taking a coal dock on China's coast as an example for illustrative analysis, the results show that the representative ship types can safely moor and evacuate under wind-current coupling conditions. The conclusion is that a 35,000-ton bulk carrier should evacuate the dock in 9-level winds, and a 50,000-ton bulk carrier should evacuate the dock in 8-level winds. The research results can help address the issue of increased port stay times for vessels due to wind avoidance and evacuation from docks and can provide support for determining the emergency wind avoidance standards and emergency plans for harbor vessels at docks.

Keywords: harbor; ships; windproof emergency; mooring force; wind load

收稿日期: 2024-05-03

作者简介: 刘智豪 (2001—), 男, 硕士研究生, 研究方向为船舶智慧挖掘与应用。

随着全球经济一体化发展以及“一带一路”倡议推动^[1]，经济发展模式从粗放型到集约型的转变，码头作业效率的提升尤为迫切。船舶在码头靠泊防风相较于离港到锚地防风，可以节约进出港时间，从而很大程度提升泊位的利用率。同时，海港船舶码头防风应急标准的确定对船舶在码头的停泊安全至关重要，也可以为海事部门的监管提供技术参考。然而，由于码头作业的船舶具有类型多、尺度跨度大等特点，给码头船舶防风应急标准的确定带来了很大的挑战。

在船舶防风应急相关研究方面，目前国内主要采用 JTJ 144-1—2010《港口工程荷载规范》^[2]的公式计算船舶系缆力。李秋等^[3]分析风荷载、流荷载、缆绳种类和带缆方式等对船舶缆绳受力的影响，提出了增强泊稳性的方法；侯海涛^[4]考虑码头系缆力计算的不同影响因素，应用摄动理论，提出新的趸船码头系缆力计算公式；Vytautas et al.^[5]提出一种横流作用于码头时，船舶系泊至码头过程中作用在船舶上的力和力矩以及拖船系柱所受拉力的计算方法；Ouk et al.^[6]运用 AQWA 软件对一种大型船舶的系泊工况进行数值模拟，并综合考虑海流、风、缆绳特性、护舷特性等因素对系泊船舶的运动影响；姚泽炎^[7]结合《港口工程荷载规范》和船舶靠泊的过程，提出一种减少船舶产生挤靠力的方法；胡元伦等^[8]综合考虑本船、风流、拖轮等多种因素，针对船舶靠泊操作提出

一种速度控制模型；Kudale et al.^[9]将船舶动能进行量化，结合大型船舶的靠泊方式及影响因素，对大型船舶的系泊系统进行深入研究。

本文以 JTS 165—2013《海港总体设计规范》^[10]和《港口工程荷载规范》为基础，综合考虑风、流耦合和码头设施的具体情况，提出一种考虑风、流耦合下的海港船舶码头防风应急标准确定方法，可为海港船舶码头防风应急标准的确定和防风应急预案的确定提供支持。

1 研究方法

海港船舶码头防风应急标准主要内容包括：基于风、流影响下的船舶所需系缆力确定和基于码头防撞设施(橡胶护舷)不同布置模式下的最大挤靠力确定。具体步骤包括：1) 根据港口泊位和航道条件确定代表船型；2) 运用船舶受风面积与风力计算模型确定船舶在系泊时所受的风荷载；3) 根据船舶所受水动力的影响，确定船舶在系泊时所受的水动力荷载；4) 根据船舶所受风、流荷载，计算船舶所需要的系缆力；5) 根据码头的防撞设施(橡胶护舷)布置标准，限制船舶挤靠力；6) 综合分析不同风流组合下的船舶系缆力和挤靠力与码头系缆设施和防撞设施的设计标准，确定海港船舶码头防风应急标准。

海港船舶码头防风应急标准确定方法流程见图 1。

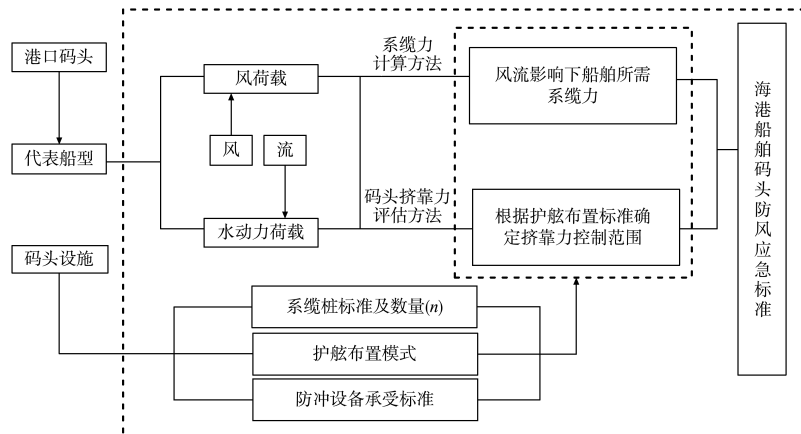


图 1 海港船舶码头防风应急标准确定方法流程

Fig. 1 Process of determining emergency mooring standards for ships at docks

1.1 风流影响下的系缆力确定

船舶停泊时,通常采用系缆的方式对船舶进行固定,确保船舶在停靠或作业期间保持稳定的位置和姿态,防止其漂移。

根据《海港总体设计规范》,作用于船舶上风荷载与水动力荷载的横向与纵向分力计算方法如式(1)、(2)所示。

$$\begin{cases} F_{x,w} = 73.6 \times 10^{-5} A_{x,w} v_x^2 \zeta_{1,x} \zeta_2 \\ F_{y,w} = 49.0 \times 10^{-5} A_{y,w} v_y^2 \zeta_{1,y} \zeta_2 \end{cases} \quad (1)$$

式中: $F_{x,w}$ 为作用在船舶上风压力的横向分力; $F_{y,w}$ 为作用在船舶上风压力的纵向分力; $A_{x,w}$ 为船体水面以上横向受风面积; $A_{y,w}$ 为船体水面以上纵向受风面积; v_x 为设计风速的横向分量; v_y 为设计风速的纵向分量; $\zeta_{1,x}$ 为横向风压不均匀折减系数,取 0.625; $\zeta_{1,y}$ 为纵向风压不均匀折减系数,取 1.00; ζ_2 为风压高度变化修正系数,取 1.54。

$$\begin{cases} F_{x,sc} = C_{x,sc} \frac{\rho}{2} v^2 B' \\ F_{x,mc} = C_{x,mc} \frac{\rho}{2} v^2 B' \\ F_{y,c} = C_{y,c} \frac{\rho}{2} v^2 S \end{cases} \quad (2)$$

式中: $F_{x,sc}$ 为水流对船舶作用产生的船首横向分力; $F_{x,mc}$ 为水流对船舶作用产生的船尾横向分力; $F_{y,c}$ 为水流对船舶作用产生的水流力纵向分力; $C_{x,sc}$ 为水流力船首横向分力系数; $C_{x,mc}$ 为水流力船尾横向分力系数; ρ 为水的密度; v 为水流速度; B' 为船舶吃水线以下的横向投影面积; $C_{y,c}$ 为水流力纵向分力系数, $C_{y,c} = 0.046Re^{-0.134} + b$; S 为船舶吃水线以下的表面积; C_b 为方形系数,取 0.825。

根据《海港总体设计规范》,船舶在风、流荷载的影响下,不同船舶所需系缆力计算方法为:

$$N = \frac{K}{n} \left(\frac{\sum F_x}{\sin \alpha \cos \beta} + \frac{\sum F_y}{\cos \alpha \cos \beta} \right) \quad (3)$$

式中: N 为系缆力标准值; $\sum F_x$ 为风和水流对船舶作用产生的横向分力总和; $\sum F_y$ 为风和水流对船舶作用产生的纵向分力总和; K 为系船柱受力分布不均匀系数,取 1.3; n 为计算船舶同时受力的系船柱数目; a 为系船缆的水平投影与码头前沿

线所成的夹角,取 30° ; β 为系船缆与水平面之间的夹角,取 15° 。

1.2 基于护舷模式制约的挤靠力确定

船舶在进行系泊作业时,由于风力和水动力的作用,船舶会产生相对位移,与码头上的防撞设施发生接触。船舶与码头防撞设施碰撞所产生的挤靠力大于防撞设施的标准时,会造成设施表面的磨损或变形。因此对船舶受风、流影响产生挤靠力的标准确定至关重要。

根据《港口工程荷载规范》可知,码头防撞设施(橡胶护舷)的不同布置模式,导致计算挤靠力的方法也各有差异。

当橡胶护舷连续布置时:

$$F_j = \frac{K_j \sum F_x}{L_n} \quad (4)$$

式中: F_j 为橡胶护舷连续布置时,作用于系船、靠船结构的单位长度上的挤靠力标准值; K_j 为挤靠力分布不均匀系数,取 1.1; $\sum F_x$ 为可能同时出现的风和水流对船舶作用产生的横向分力总和; L_n 为船舶直线段与橡胶护舷的接触长度。

当橡胶护舷间断布置时:

$$F'_j = \frac{K'_j \sum F_x}{n} \quad (5)$$

式中: F'_j 为橡胶护舷间断布置时,作用于 1 组或 1 个橡胶护舷上的挤靠力标准值; K'_j 为挤靠力分布不均匀系数,取 1.3; $\sum F_x$ 为可能同时出现的风和水流对船舶作用产生的横向分力总和; n 为与船舶接触的橡胶护舷的组数或个数。

2 案例分析

2.1 码头条件概况

2.1.1 气象条件

研究码头所处海域属于北亚热带海洋性季风气候,受海洋调节和季风环流的影响。在码头附近海域,常风向为北向,频率为 12.24%,次常风向为东南东向,频率为 10.25%。此外,还存在强风向为东北的情况,该风向的风级达到或超过 7 级的概率为 0.15%。全方位上,风级达到或超过

7 级的概率为 0.59%，而风级达到或超过 8 级的概率仅为 0.02%。最大风速记录为 25.1 m/s，风向为北向。

2.1.2 水文条件

研究码头大潮日涨落潮最大实测流速流向为：涨潮最大流速为 200 cm/s，对应流向为 309°；垂线平均最大流速为 137 cm/s，对应流向为 313°；落潮最大流速为 154 cm/s，对应流向为 135°；垂线平均最大流速为 125 cm/s，对应流向为 134°。小潮日涨落潮最大实测流速流向为：涨潮最大流速为 63 cm/s，对应流向为 308°；垂线平均最大流速为 47 cm/s，对应流向为 308°；落潮最大流速为 66 cm/s，对应流向为 160°；垂线平均最大流速为 49 cm/s，对应流向为 161°。

2.1.3 码头靠泊设施配备

目前，研究码头系泊设施采用 1 500 kN 系缆

桩 22 个，泊位端部设 2 000 kN 系缆桩 4 个。防冲设备选取 1450H 鼓型橡胶护舷 46 套(一鼓一板)，鼓型护舷在排架上的布置为上下交错布置。其性能为：设计反力 936 kN，最大反力 996 kN。其码头系缆桩和护舷布置见图 2。

船舶和码头之间缆绳的几何布置方式称为系泊形式^[11]。船舶正常靠泊作业，一般按照前 3 后 3 共 6 根系缆桩进行系缆，系缆数量 8~12 根。按照系缆位置和作用的不同，通常可以将系泊缆绳分为艏缆、艮缆、艏横缆、艮横缆、艏倒缆和艮倒缆 6 种，见图 3。其使用情况还要根据码头、船舶和受外界荷载情况具体判断。艏缆主要承受船体的纵向荷载，防止艏艮外移；艮横缆主要承受船体的横向荷载，防止船体漂离码头；艏倒缆主要承受船体的纵向荷载，防止船体前移或后退。

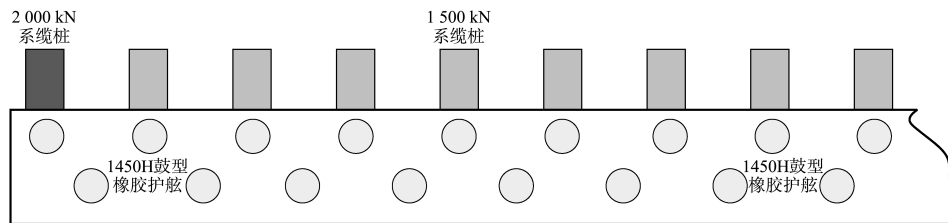


图 2 码头系缆桩和护舷布置(部分)

Fig. 2 Layout of dock bollards and fenders (partial)

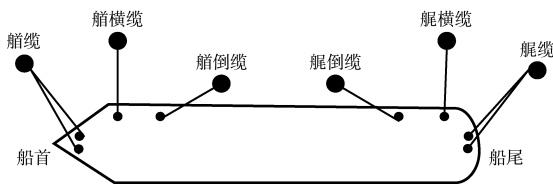


图 3 船舶系缆

Fig. 3 Ship mooring

2.2 码头防风应急标准确定

2.2.1 代表船型确定

根据码头附近主航道通航等级、泊位分布与到港船舶类型和到港船舶载质量的统计情况，综合分析，最终选取 3.5 万、5.0 万吨级散货船为代表船型。代表船舶特征值见表 1。

表 1 代表船型特征

Tab. 1 Characteristics of representative ship types

载质量/ 万吨级	船宽/ m	船长/ m	满载 吃水/m	满载横向受风 面积/m ²	压载横向受风 面积/m ²	满载纵向受风 面积/m ²	压载纵向受风 面积/m ²
3.5	30.4	190	11.2	1 618	2 639	467	630
5.0	32.3	223	12.8	1 830	3 090	518	723

2.2.2 系缆力标准确定

码头前沿水流流速最大为 2.0 m/s，主码头系泊设施采用 1 500 kN 系缆桩，泊位端部设 2 000 kN

系缆桩。按照流速 2.0 m/s，风速取每级风速上限(如 6 级风取 13.8 m/s)计算不同风级下的船舶系缆力见表 2。

表 2 船舶系缆力
Tab. 2 Ship mooring force

船舶纵轴与水流方向夹角/(°)	船舶类型	载质量/万吨级	风速/(m·s ⁻¹)	满载系缆力标准值/kN	压载系缆力标准值/kN
0~15	散货船	3.5	13.8	1 033.670	890.814
			17.1	1 123.104	1 026.888
			20.7	1 242.454	1 208.480
			24.4	1 388.809	1 431.159
		5.0	13.8	1 250.941	987.988
			17.1	1 346.401	1 137.895
			20.7	1 473.793	1 337.946
			24.4	1 630.010	1 583.263
165~180	散货船	3.5	13.8	1 082.555	927.800
			17.1	1 171.989	1 063.874
			20.7	1 291.339	1 245.465
			24.4	1 437.695	1 468.145
		5.0	13.8	1 312.511	1 040.687
			17.1	1 407.971	1 190.594
			20.7	1 535.363	1 390.645
			24.4	1 691.580	1 635.962

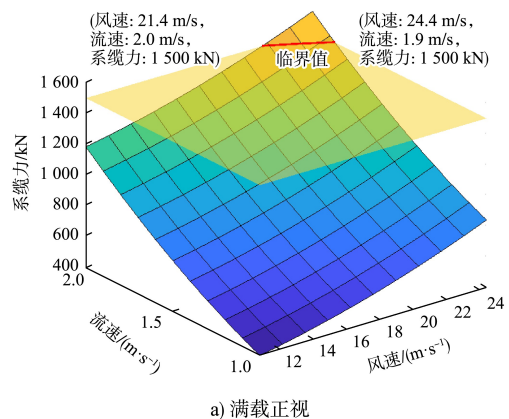
由表 2 计算结果可知: 当水流方向与船舶轴线夹角为 0°~15°时, 码头系缆桩受力标准满足满载和压载状态下的 3.5 万吨级散货船在 9 级及以下风力时的靠泊防风; 码头系缆桩受力标准满足满载和压载状态下的 5.0 万吨级散货船在 8 级及以下风力时的靠泊防风。

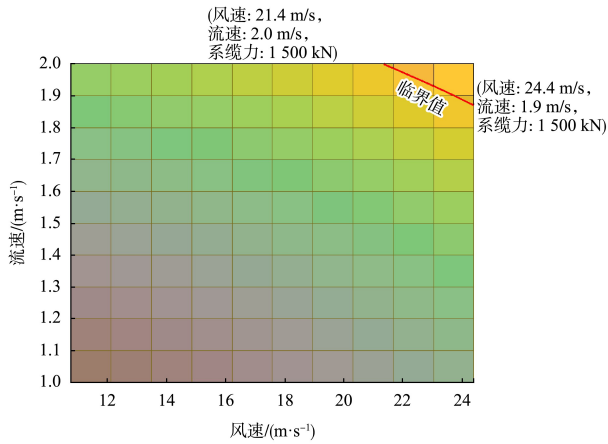
当水流方向与船舶轴线夹角为 165°~180°时, 码头系缆桩受力标准满足满载和压载状态下的 3.5 万吨级散货船 9 级及以下风力时的靠泊防风; 码头系缆桩受力标准基本满足满载状态下的 5.0 万吨级散货船 8 级及以下风力时的靠泊防风, 满足压载状态下的 5.0 万吨级散货船 8 级及以下风力时的靠泊防风。

考虑码头附近水域流速会发生变化, 根据气象水文资料, 首先, 将流速的取值设定为 1.0~2.0 m/s, 以 0.1 m/s 为间隔进行离散化处理; 将风速取值设定为 10.8 m/s(6 级风最小值)~24.4 m/s(9 级风最大值), 同样进行离散化处理, 以此计算系缆力大小。

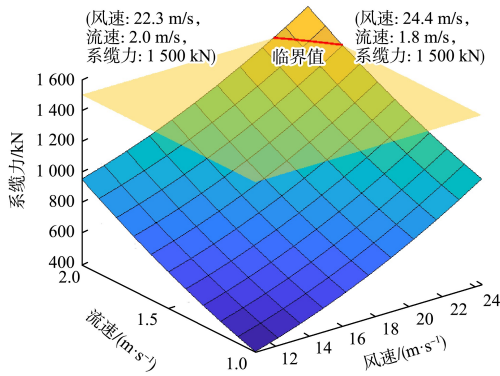
其次, 为了直观地展示风、流和系缆力之间的变化关系, 以风速为 x 轴、流速为 y 轴、系缆力为 z 轴, 绘制三维可视图。

最后, 结合上述计算出的系缆力数值绘制系缆力标准平面, 该平面与前述三维图的切点即为码头防风应急标准的具体数值。根据表 2 可知, 3.5 万吨级散货船在满载和压载状态下的系缆力在 ≤9 级风时都小于 1 500 kN, 满足码头系缆标准, 无需进行额外分析。因此只对 5.0 万吨级散货船进行系缆力分析, 见图 4。

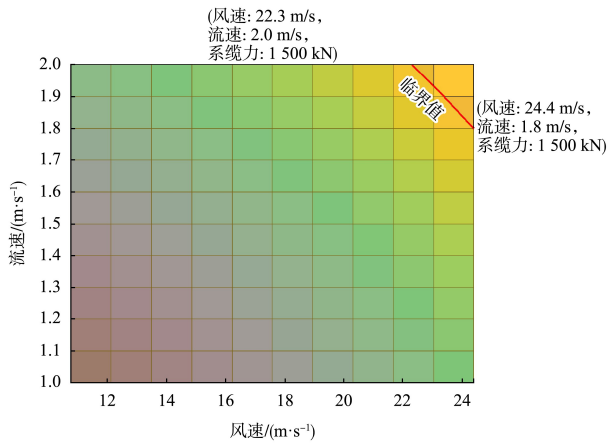




b) 满载俯视

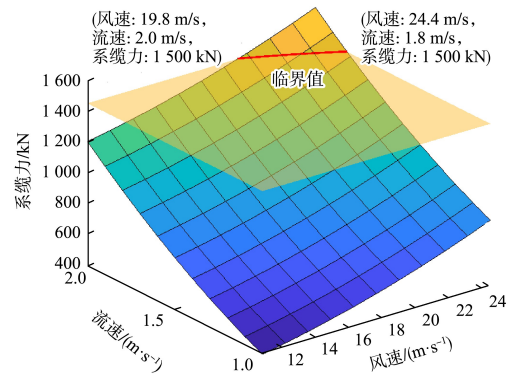


c) 压载正视

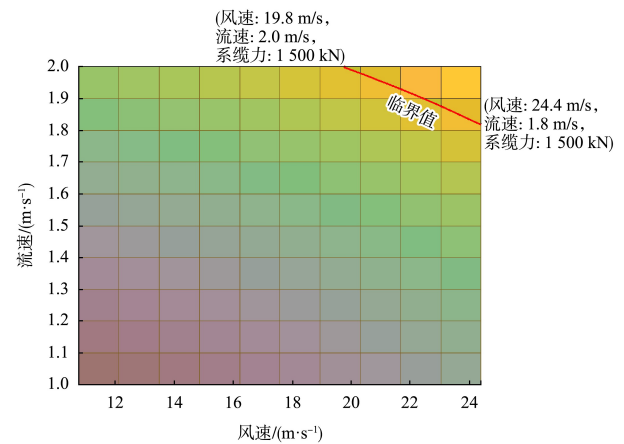


d) 压载俯视

由图4可知,在5.0万吨级散货船满载的情况下(水流方向与船舶纵轴夹角为 $0^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 时),系缆力随着风速和流速的增大而逐渐增大,而系缆力标准值保持不变(图中系缆力为1500 kN的平面),2个平面所构成的交线便是临界标准。经计算可知,该状态下若要使船舶系缆力满足码头系缆桩受力标准,其限定风流组合值应不超过图中实线所代表的临界值,左下侧为安全的风流值组合,右上侧为不安全风流值组合。当流速为2.0 m/s、风速 ≥ 21.4 m/s(9级风),以及风速为24.4 m/s(9级风)、流速 ≥ 1.9 m/s时,5.0万吨级满载散货船所需的系缆力超出码头系缆桩设计要求;当流速为2.0 m/s、风速 ≥ 22.3 m/s(9级风)时,以及当风速为24.4 m/s(9级风)、流速 ≥ 1.8 m/s时,5.0万吨级压载散货船所需的系缆力超出码头系缆桩设计要求。



a) 满载正视



b) 满载俯视

图4 5.0万吨级散货船满载/压载系缆力与风速、流速关系 (水流方向与船舶纵轴夹角为 $0^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 时)

Fig. 4 Relationship between full load/ballast mooring force and wind speed/flow velocity of a 50,000-ton bulk carrier (when angle between water flow and ship longitudinal axis is $0^{\circ} \sim 15^{\circ}$)

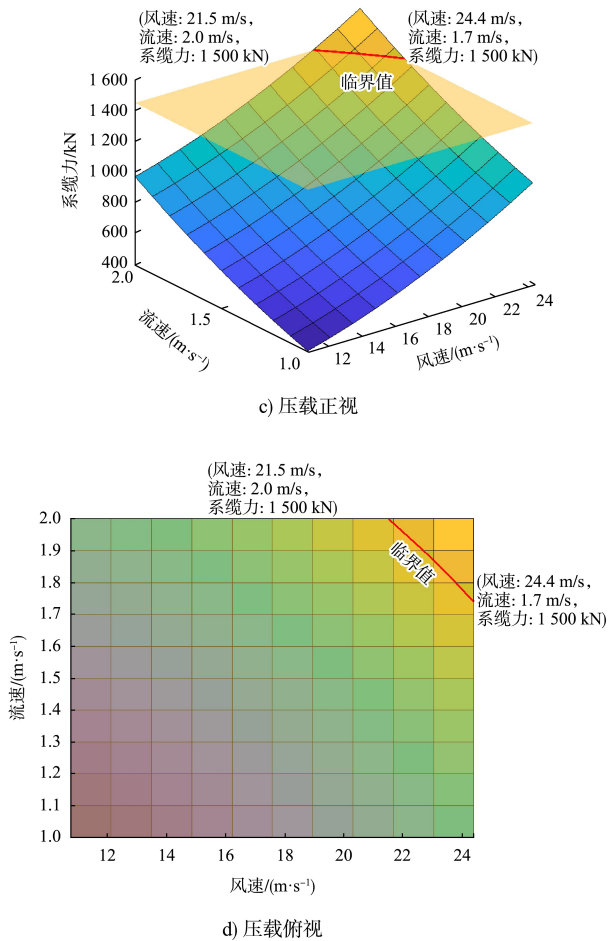


图 5 5 万吨级散货船满载与压载系缆力与风速、流速关系 (水流方向与船舶纵轴夹角为 $165^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 时)
 Fig. 5 Relationship between full load/ballast mooring force and wind speed/flow velocity of a 50, 000-ton bulk carrier (when angle between water flow and ship longitudinal axis is $165^{\circ} \sim 180^{\circ}$)

由图 5 可知, 在 5.0 万吨级散货船满载的情况下 (水流方向与船舶纵轴为 $165^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 时), 系缆力随着风速和流速的增大而逐渐增大。系缆力标准值保持不变, 2 个平面所构成的交线便是临界标准。经过计算可知, 该状态下若要使船舶系缆力满足码头系缆桩受力标准, 其限定风流组合值应不超过图中实线所代表的临界值, 左下侧为安全的风流值组合, 右上侧为不安全风流值组合。由图可知, 当流速为 2.0 m/s、风速 ≥ 19.8 m/s (8 级风) 时, 以及风速为 24.4 m/s (9 级风)、流速 ≥ 1.8 m/s 时, 5.0 万吨级满载散货船所需的系缆力超出码头系缆桩设计标准; 当流速为 2.0 m/s、风速 ≥ 21.5 m/s (9 级风) 时, 以及风速为 24.4 m/s

(9 级风)、流速 ≥ 1.7 m/s 时, 5.0 万吨级压载散货船所需的系缆力超出码头系缆桩设计要求。

2.2.3 挤靠力标准

船舶挤靠力需考虑风和水流对船舶作用时产生的横向分力及船舶停靠码头接触护舷个数。

通过查阅资料可知 3.5 万吨级散货船停靠码头接触护舷为 11 个; 5 万吨级散货船停靠码头接触护舷为 13 个。以 2.0 m/s 为设计流速, 根据式(1)计算出风、流对船舶作用产生的横向分力, 再分别对 3.5 万和 5.0 万吨级散货船在满载和压载状态下的挤靠力进行评估。船舶挤靠力计算结果见表 3。

表 3 不同风级下以 2.0 m/s 为代表流速的码头船舶挤靠力计算结果

Tab. 3 Calculation results of crushing force on terminal ships with 2.0 m/s

as representative flow velocity under different wind levels

代表船型	设计风速/ ($m \cdot s^{-1}$)	水流流向与船舶纵轴夹角/ ($^{\circ}$)	接触护舷个数/ 个	挤靠力标准值/kN	
				满载	压载
3.5 万吨级散货船	13.8	0~15	11	124.5	103.0
		165~180		124.6	105.1
	17.1	0~15		138.9	126.5
		165~180		125.6	128.5
	20.7	0~15		158.7	170.0
		165~180		145.3	160.3
5.0 万吨级散货船	24.4	0~15	13	181.6	196.1
		165~180		168.3	198.1
	13.8	0~15		126.5	90.1
		165~180		112.4	91.7
	17.1	0~15		139.2	111.4
		165~180		125.1	113.1
20.7	0~15	156.6	150.3		
	165~180	142.5	142.1		
24.4	0~15	176.7	174.9		
	165~180	196.4	176.5		

由表 3 可知, 3.5 万吨级散货船最大挤靠力为 198.1 kN; 5.0 万吨级散货船最大挤靠力为 196.4 kN。

根据码头靠泊设施配备介绍可知, 码头设计选用 1450H 鼓型护舷, 设计反力 936 kN, 最大反力 996 kN。考虑船舶停靠的安全性, 留有富余反力, 采用设计反力为最大的船舶挤靠力标准值。

根据表3中代表船型的最大挤靠力与码头选用护舷的设计反力标准值比较可知,1450H鼓型护舷可承受3.5万和5.0万吨级散货船的挤靠力。

2.3 结果分析

通过试验得知,随着船舶吨位的增加,船舶受风荷载与水动力荷载的影响愈加显著。所以在确定海港船舶码头防风应急标准时,应充分考虑码头及附近区域的风、流情况与码头的防撞设施布置情况。

1) 在靠离泊过程中,对于3.5万吨级散货船,在船舶纵轴与水流方向为 $165^{\circ}\sim 180^{\circ}$,风速为9级时,船舶压载状态下所需的最大系缆力为1468.145 kN,接近码头所能承受的系缆力最大阈值。因此,风速超过9级时应采取增加系缆桩的防风措施。对于5.0万吨级散货船,在船舶纵轴与水流方向为 $165^{\circ}\sim 180^{\circ}$,风速为8级时,船舶满载状态下所需的系缆力已达到1535.363 kN,超出码头所能承受的系缆力最大阈值。应采取增加系缆桩的预防措施进行防风。鉴于增加系缆桩在实际操作中可能存在困难,因此,当船舶所需的系缆力超出系缆桩承受标准时,船舶应采取离港避风的措施。同时,应立即通知相关部门启动应急预案。在离港前,必须对船舶状态进行检查,以确保船舶适合在当前风速条件下离港。离港时,船舶应与其他船舶或港口设施保持安全距离,以避免发生碰撞。通过对风流耦合下系缆力的分析,可以有效解决因防风撤离码头而导致港口停留时间增加的问题。

2) 在确定不同护舷模式下的船舶挤靠力标准时,选取的代表船型在靠泊过程中受到风、流的影响产生的最大挤靠力为198.1 kN,在码头最大承受力936 kN标准之内,因此符合码头挤靠力标准。不同码头因采用的设施不同,承受力标准也不同。若因风速、流速过大导致产生的挤靠力大于防撞设施的承受范围时,则船舶应采取撤离码头避风的措施,以保证船舶的安全。

3 结语

1) 以《海港总体设计规范》和《港口工程荷载规范》为基础,结合风流影响和码头设施布置模式约束,提出一种风、流耦合下的海港船舶码头防风应急标准确定方法,有效解决了船舶因防风撤离码头而导致船舶在港时间增加的问题。

2) 在防风应急标准确定中,考虑码头周围环境的特点,将流速的取值设定为 $1.0\sim 2.0$ m/s,以 0.1 m/s为间隔进行离散化处理;将风速取值设定为 10.8 m/s(6级风最小值) ~ 24.4 m/s(9级风最大值),同样进行离散化处理,从而更精准地确定系缆力大小。实现同一码头不同风级下防风标准的合理化确定,提高船舶进出港效率。

3) 本文未考虑浪对船舶造成的作用力,后续可针对浪的影响,通过优化船舶受力计算模型,提升船舶防风应急标准确定的精度。

参考文献:

- [1] 宗婧慧,韩健铤.中英规范中船舶水流力计算的对比研究[J].中国水运(下半月),2018,18(12):8-10.
ZONG J H, HAN J J. A comparative study on the calculation of ship flow force in Chinese and British norms[J]. China water transport(second half month), 2018, 18(12): 8-10.
- [2] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司,中交第二航务工程勘察设计院有限公司.港口工程荷载规范:JTJ 144-1—2010[S].北京:人民交通出版社,2010.
CCCC First Harbor Consultants Co., Ltd., CCCC Second Harbor Consultants Co., Ltd. Load Code for Harbour Engineering: JTJ 144-1-2010[S]. Beijing: China Communications Press, 2010.
- [3] 李秋,黄加伟.船舶旁靠时缆绳受力分析[J].港工技术,2022,59(S1):39-42,64.
LIQ, HUANG J W. Stress analysis of mooring cable for ship berthing alongside[J]. Port engineering technology, 2022, 59(S1): 39-42, 64.
- [4] 侯海涛.基于摄动理论下内河趸船码头系缆力计算研究[D].重庆:重庆交通大学,2023.

- HOU H T. Calculation of bollard force of inland barge quay based on regency theory[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2023.
- [5] VYTAUTAS P, DONATAS P, BIRUTE P, et al. Ship mooring to jetties under the crosscurrent[J]. Transport, 2017, 33 (2): 454-460.
- [6] OUK W K, WOOK S L, YOUNG J B. A study on mooring limit analysis of large ship[J]. Journal of fisheries and marine sciences education, 2017, 29(2): 415-421.
- [7] 姚泽炎. 船舶靠泊法向速度的控制[J]. 中国水运, 2012, (12): 42-43.
- YAO Z Y. Control of ship berthing normal velocity [J] China water transport, 2012, (12): 42-43.
- [8] 胡元伦, 郭颜斌, 王英辰. 防御船舶失控的靠泊速度控制模型研究[J]. 中国水运(下半月), 2023, 23 (4): 39-41.
- HU Y L, GUO Y B, WANG Y C. Berthing speedcontrol model for defending against ship loss of control [J] China water transport (Second half month), 2023, 23 (4): 39-41.
- [9] KUDALE A M, SOHONI V, KULKARNI S. Mooring system for very large ships at berth[J]. International journal of current engineering and technology, 2016, 6 (4): 1363-1371.
- [10] 中交水运规划设计院有限公司. 海港总体设计规范: JTS 165—2013[S]. 北京: 人民交通出版社, 2013.
- CCCC Water Transport Planning and Design Institute Co., Ltd. Design code of general layout for sea ports: JTS 165 - 2013 [S]. Beijing: People's Communications Press, 2013.
- [11] 郝庆龙. 超大型船舶系缆力实测研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2015.
- HAO Q L. Measurement research on very large ships's mooring force [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2015.
- (本文编辑 赵娟)
-
- (上接第62页)
- [10] WU L J, GUAN L, JU X L, et al. High-efficiency algorithm for the most unfavourable load case combinations of multilayered frame-type wharf structure [J]. Tehnicki vjesnik-technical gazette, 2021, 28(2): 629-638.
- [11] 刘明维, 舒丹, 吴林键, 等. 基于单位力法的内河架空直立式码头三维空间结构计算中作用效应组合分析[J]. 水运工程, 2014(10): 47-52.
- LIU M W, SHU D, WU L J, et al. Analysis of effect combinations in 3 D structure of vertical-faced wharfs in inland rivers based on unit force method [J]. Port & waterway engineering, 2014(10): 47-52.
- [12] 舒丹, 刘明维, 吴林键, 等. 内河架空直立式码头三维空间结构构件最不利荷载工况组合算法[J]. 中国港湾建设, 2014(2): 37-44.
- SHU D, LIU M W, WU L J, et al. Algorithm for all components worst load case combinations in 3D structure of vertical-faced wharfs in inland rivers [J]. China harbour engineering, 2014(2): 37-44.
- [13] 刘明维, 徐光亮, 吴林键, 等. 船闸运行状态下闸门及支承运转件敏感区应力关系研究[J]. 水道港口, 2021, 42(2): 220-228.
- LIU M W, XU G L, WU L J, et al. Study on relationship between stress in the sensitive area of gate and supporting operating parts under operation state of ship lock[J]. Journal of waterway and harbor, 2021, 42(2): 220-228.
- [14] 刘明维, 纪旭东, 古明洁, 等. 船闸浮式系船柱结构受荷敏感区域研究[J]. 水运工程, 2024(1): 76-83.
- LIU M W, JI X D, GU M J, et al. Structural load sensitive area for floating mooring column of ship lock[J]. Port & waterway engineering, 2024(1): 76-83.
- [15] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. 港口工程荷载规范: JTS 144-1—2010[S]. 北京: 人民交通出版社, 2010.
- CCCC First Harbor Consultants Co., Ltd. Load code for harbour engineering: JTS 144-1-2010[S]. Beijing: China Communications Press, 2010.
- (本文编辑 王传瑜)