



# 基于 Optimoor 的内河码头船舶 运动量下系泊分析

王琳, 杨斌

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

**摘要:** 与沿海码头相比, 内河码头船舶系泊作业受水流影响更为显著, 且流向多为顺流。通过系泊仿真试验, 以允许船舶系泊作业时的最大运动量为控制标准, 分析允许船舶系泊作业时的各项限制条件, 尤其是限定的水流条件。现行《规范》对码头系泊作业时基于船舶运动量下的限制波浪、风速、水流等未予以明述, 本文研究结果可为相关船舶系泊作业提供理论参考。

**关键词:** 内河码头; 船舶运动量; 系泊条件; 水流流速

中图分类号: U 656.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)10-0057-04

## Analysis of mooring at inland harbor under vessel motion based on Optimoor

WANG Lin, YANG Bin

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

**Abstract:** Compared with the coastal port, vessel mooring operation in inland harbor is influenced more obviously by current. Due to the geographical environment, the current flow always occurs in the inland harbor. Vessel motion is introduced as the controlling conditions to meet the requirements of ship's mooring operation. Then, based on the mooring simulation, various limiting conditions are analyzed, especially the limited current conditions. The limiting conditions of wave, wind speed and current under vessel motion are not mentioned in norms when the vessel moors at berth. The research results may provide theoretical reference for relevant vessel berthing operations in inland harbor.

**Keywords:** inland harbor; vessel motion; mooring condition; flow velocity

随着船舶的大型化以及泊位的深水化, 船舶系泊问题受到越来越多的重视。在恶劣的环境条件下, 系泊船舶对码头的撞击既可能造成船舶结构的损伤、缆绳断裂, 也可能引发危及码头安全等相关事故。因此, 合理确定船舶系泊条件, 对港口的安全生产和运营具有重要意义。

目前, 国内外学者对船舶系泊的研究主要集中在沿海码头上, 对内河码头的船舶系泊少有研究。在海港系泊方面, Bingham 等<sup>[1-2]</sup>用 Boussinesq 波浪模型研究了非线性波浪作用下时域系泊船的运动响应; 向溢等<sup>[3]</sup>用静力学方法建立了船舶缆

绳张力数学模型; 索华侨<sup>[4]</sup>建立了风、浪、流作用下的数值模型, 并将数模与物模结果相比对; 张日向等<sup>[5]</sup>通过系泊试验, 讨论了采油平台系泊船舶的缆绳张力与撞击力并给出了极限系泊条件。相对海港, 内河码头受波浪影响较小, 其系泊作业主要受水流控制。

当前, 对于不同泊位不同船型, 国内规范均为给定可系泊作业参数, 但该标准有一定的局限性, 不能全面反映准确的可作业条件。英国标准 BS 6349—2000、国际航运协会的《港内系泊船舶运动量准则实用指南》(1995年) 和美国国防部标准

收稿日期: 2016-06-16

作者简介: 王琳 (1978—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事港口工程规划与设计工作。

DESIGN: MOORINGS (UFC 4-159-03, 2005年)中,均以船舶运动量作为控制条件来确定船舶系泊作业条件。

以船舶运动量作为控制条件确定系泊作业条件,更具有针对性。本文运用 Optimoor 系泊仿真软件建立内河码头船舶系泊仿真模型,通过运行仿真模型和采集数据,由船舶允许运动量为控制标准,得到内河码头船舶系泊条件。

### 1 基于系泊条件影响的内河船舶系泊仿真模型

#### 1.1 系泊条件

码头船舶系泊作业条件主要受以下几个要素的影响:

- 1) 风: 风力大于六级船舶需立即停止装卸作业; 风力小于七级时允许引航船靠近船舶及拖船强制引水。
- 2) 浪: 根据国内《规范》, 对不同载重吨的船舶、不同货种的码头, 船舶靠泊装卸有不同的允许波高<sup>[6]</sup>。
- 3) 流: 当前国内规范对于可系泊状况下的潮流未给予明确标准。

#### 1.2 船舶运动量

在波浪、水流和风等共同作用下, 船舶产生横移、纵移、升沉、横摇、纵摇、回转6个自由度的复合运动(图1)。

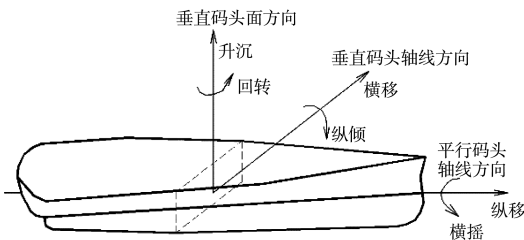


图1 船舶6个运动分量

在码头系泊时, 船舶的纵移、横移、横摇这3种运动对缆绳受力和码头护舷的挤靠力影响较大, 而其它3个自由度对结果的影响较小。

对船舶运动量的各项控制标准中, 对横移量的控制要严于纵移量。以国际航运协会(PIANC)在《港内系泊船舶运动量准则实用指南》(1995年)<sup>[7]</sup>作为作业标准依据(表1)。

表1 系泊船舶允许运动量标准

船型	装卸设备	纵移/ m	横移/ m	升沉/ m	回转/ (°)	纵倾/ (°)	横摇/ (°)
件杂货船		2.0	1.5	1.0	3	2	5
散货船	传送带	5.0	2.5		3		
油轮	装卸料臂	3.0	3.0				

### 1.3 内河码头系泊仿真模型

本模型以国外某内河港口工程为原型, 分析各工况下的船舶运动量及其对应的允许作业条件。工程水域波浪较小, 对船舶的运动影响较小, 水流以顺流为主, 与码头轴线夹角小于5°, 但水流流速较大。因此, 除受风影响外, 水流为船舶安全靠泊及作业的制约因素。

本模型分别针对25万DWT、14万DWT散货船以及4.68万DWT、2万DWT、1.37万DWT和7600DWT件杂货船舶在满载、压载状态下, 在HAT(最高天文潮位)和MLWS(大潮平均低水位)时, 配以不同的环境荷载进行船舶运动量模拟。模拟工程的码头轴线均为53°~233°, 风速考虑极限状态下的20 m/s和28 m/s、风向为垂直泊位轴线方向; 模拟水流与码头轴线夹角为±5°; 波浪为顺浪, H<sub>4%</sub>波高在0.1~0.25 m之间、平均周期在9.3~15 s之间。

## 2 仿真试验及结果分析

### 2.1 确定受控的船舶运动量标准

根据仿真结果分析、推算满足船舶运动量的允许作业条件。

- 1) 由于工程位置处波浪大小及浪向基本固定, 试验中采用的波浪要素为 H<sub>s</sub>=0.1 m、T=8 s, 与码头轴线夹角为±5°。
- 2) 风速以可能出现的最不利风速风向为输入条件, 即30 s平均风速为28 m/s, 风向为垂直码头轴线的吹开风。
- 3) 在上述给定的波浪、风前提下, 选取不同流速的水流输入条件, 模拟船舶运动量, 并给出允许的作业流速条件。

经分析船舶横移量为最敏感运动量, 因此以船舶横移量的上限值作为确定允许作业标准的控制因素(表2)。

表 2 不同流向下各工况仿真船舶横向运动量统计

船型 (实船)	工况	风 (30 s 平均风速)	浪							
			0.1 m, 8 s		0.25 m, 15 s		0.1 m, 8 s		0.1 m, 8 s	
			-175°		-5°		5°		175°	
			流速/(m/s)	横移量/m	流速/(m/s)	横移量/m	流速/(m/s)	横移量/m	流速/(m/s)	横移量/m
250 000 DWT 散货船	MLWS 满载		1.03	0.9	0.93	1.3	1.44	0.6	1.23	0.3
	MLWS 压载	吹开风			1.39	0.6	1.39	0.2		
	HAT 满载	28 m/s			1.39	1.9				
	HAT 压载				1.39	0.8				
140 000 DWT 散货船	MLWS 满载		0.93	2.2	0.93	1.9	1.39	0.2	0.93	0.2
	MLWS 压载	吹开风			1.39	0.1	1.39	0.2		
	HAT 满载	28 m/s			1.39	2.5				
	HAT 压载				1.39	2.0				
46 800 DWT 油船	MLWS 满载		1.54	1.0	1.54	0.7	1.39	0.1	1.54	0.1
	MLWS 压载	吹开风			1.39	0.1	1.39	0.1		
	HAT 满载	28 m/s			1.39	0.2				
	HAT 压载				1.39	0.1				
20 000 DWT 油船	MLWS 满载		1.54	0.2	1.39	0.7	1.39	0.1	1.54	0.1
	MLWS 压载	吹开风			1.39	0.1	1.39	0.1		
	HAT 满载	28 m/s			1.39	0.1				
	HAT 压载				1.39	0.1				
10 000 DWT 油船	MLWS 满载		1.54	0.9	1.39	0.8	1.39	0.1	1.54	0.1
	MLWS 压载	吹开风			1.39	0.1	1.39	0.1		
	HAT 满载	28 m/s			1.39	0.1				
	HAT 压载				1.39	0.1				
13 750 DWT 杂货船	MLWS 满载		0.93	0.4	0.93	0.2	1.39	0.1	1.54	0.1
	MLWS 压载	吹开风			1.39	0.2	1.39	0.1		
	HAT 满载	28 m/s			1.39	0.7				
	HAT 压载				1.39	0.1				
7 600 DWT 杂货船	MLWS 满载		0.93	0.4	0.93	0.8	1.54	0.1	1.54	0.1
	MLWS 压载	吹开风			1.39	1.4	1.39	0.1		
	HAT 满载	28 m/s			1.39	1.5				
	HAT 压载				1.39	0.6				

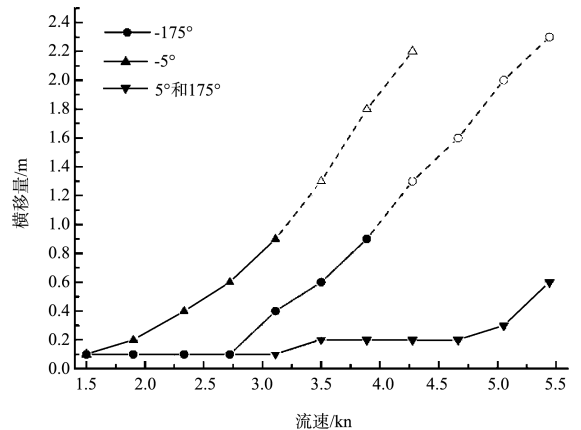
2.2 系泊仿真结果分析

由表 2 可看出, 相对其它工况, MLWS 下满载吃水工况具有代表性。为探究水流与船舶横移量的关系, 本文提取大中小船(250 000 DWT 散货船、46 800 DWT 油船、7 600 DWT 杂货船)在 MLWS 满载工况下, 模拟各流向及流速时船舶运动量中的横移量, 仿真结果见图 2。

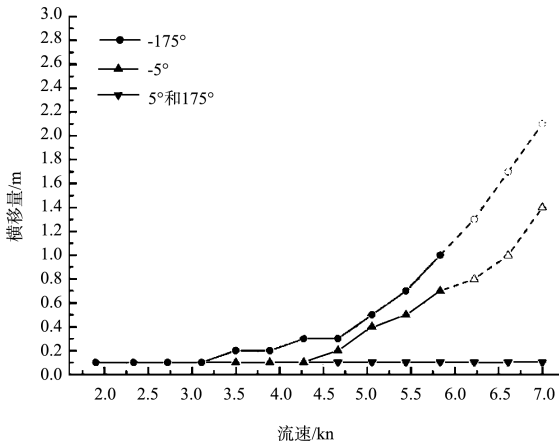
由图 2 可看出:

1) 在 5° 和 175° 流向时, 不同流速条件下, 各类船舶的横向运动量均较小, 此情形是由于 5° 和 175° 潮流为向岸流, 系泊时船舶受拢流作用, 船舶横移量较小, 同时码头护舷的变位也在

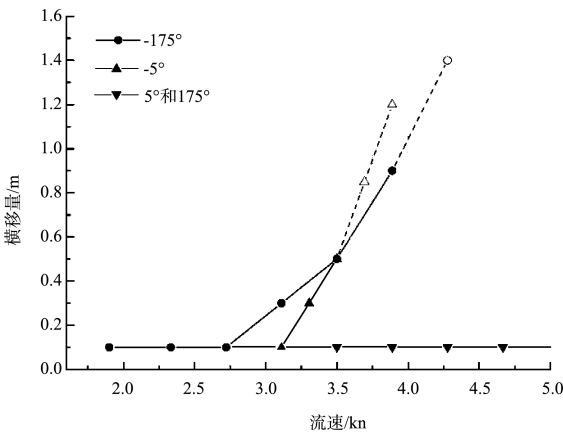
规定范围内。



a) 250 000 DWT 散货船(大型船舶)



b) 468 000 DWT 散货船(中型船舶)



c) 7 600 DWT 杂货船(小型船舶)

图2 各流向不同船型横移量与流速关系(MLWS满载)

2) 在 $-5^\circ$ 和 $-175^\circ$ 流向中,图2中实线段表示上述流向,各类别各船舶吨级的横向运动量的仿真允许值,该值要小于表1中PIANC建议的上限值,仿真允许的船舶横移量上限值约为表1船舶横移量上限值的33%~60%。

其原因是由于当船舶横移量超过仿真允许上限值但未达到表1中建议的上限值时,该状态下,船舶缆绳张力已经超过容许的安全富裕范围,如图2中的虚线段,虽然该状态的船舶横移量满足要求,但为系泊安全,该状态的船舶横移量予以剔除,以致出现船舶横移量的仿真值比PIANC建议的上限值小。

3) 对比图2,大型船舶的横移量比中小型船舶的横移量对流更为敏感。图2a) $-5^\circ$ 和 $-175^\circ$ 流

向时(离岸流),当流速由1.5 kn增长至3.5 kn时,船舶横移量从较小值变化至仿真允许上限值,而图2b)和图2c),相同流向下的流速变化幅度,其船舶的横移量增加幅度不明显。

### 3 结论

不同于沿海码头,内河码头船舶系泊作业主要受风和流影响,其中流的因素更为显著。本文利用Optimoor系泊仿真软件对内河码头船舶系泊作业进行仿真实验,研究不同流向、流速下的船舶横移量,主要得出以下结论:

- 1) 统计分析得到内河泊位不同船舶系泊作业的船舶横移量仿真上限值及流速上限值;
- 2) 由于船舶系泊缆绳的安全富裕影响,船舶横移量的仿真允许上限值要小于PIANC建议的船舶横移量上限值;
- 3) 大型船舶的横移量比中小型船舶的横移量对流更为敏感。

本文的研究成果是基于PIANC相关标准和系泊仿真试验的结论推导而来,此结论参数的适应性还须经过码头实际运营的验证。

### 参考文献:

- [1] Bingham H B. A hybrid Boussinesq-panel method for predicting the motion of a moored ship [J]. Coastal Engineering, Elsevier, 2000, 40(1): 21-38.
- [2] Madsen P A, Bingham H B, Liu H. A new Boussinesq method for fully nonlinear waves from shallow to deep water[J]. Journal of Fluid Mechanics, 2002, 462(1): 1-30.
- [3] 向溢,谭家华.码头系泊缆绳张力的蒙特卡罗算法[J].上海交通大学学报,2001,35(4): 548-551.
- [4] 索华侨.风浪流作用下码头前系泊船舶运动响应的数值模拟[D].广州:华南理工大学,2014.
- [5] 张日向,刘忠波,张宁川.系泊船在风浪流作用下系缆力和撞击力试验研究[J].中国海洋平台,2003,18(1): 28-32.
- [6] JTS 165—2013 海港总体设计规范[S].
- [7] PIANC.Criteria for movements of moored ships in harbors: a practical guide[M].Brussel: PIANC, 1995.