



风浪流作用下单船艏艉锚泊 允许波高的试验研究*

孙一艳¹, 王 刚¹, 陈国强¹, 李金宣², 郑 玮², 柳淑学²

(1. 中国水产科学研究院渔业工程研究所, 北京 100125;

2. 大连理工大学 海岸和近海工程国家重点实验室, 辽宁 大连 116024)

摘要: 研究风浪、浪流和风浪流联合作用对 275HP 拖网渔船单船艏艉双锚锚泊时锚泊力和运动量的影响。试验结果表明, 风浪作用下的锚泊力和横摇角度均大于纯浪作用的情况; 流速小于 1.0 m/s 时浪流作用下的锚泊力大于纯浪作用的情况, 而横摇角度则略小于纯浪作用的结果; 风浪流联合作用下的艏艉拉力均大于风浪或浪流作用下的拉力值。由于渔船艏艉受风和受流面积的区别, 导致艏拉力时流的影响较大, 而艉拉力时则风的影响较大。由于流作用时渔船具有的初始横摇角度对其运动具有抑制, 从而风浪流联合作用时的横摇角度要略低于风浪作用下的角度值。在本次试验范围内, 当港内同时有 10 级左右风和小于 1.0 m/s 流速的流共同作用时, 建议允许有效波高取 0.6 m 比较合适。

关键词: 单船艏艉双锚; 275HP 拖网渔船; 风浪流联合作用; 锚泊力; 运动量; 允许波高

中图分类号: U 674.4⁺1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)11-0025-05

Experimental research on allowable wave height of bow-stern mooring of a single ship under combined action of wind, wave and current

SUN Yi-yan¹, WANG Gang¹, CHEN Guo-qiang¹, LI Jin-xuan², ZHENG Wei², LIU Shu-xue²

(1. Fishery Engineering Research Institute of Chinese Academy of Fishery Sciences, Beijing 100125, China;

2. State Key Laboratory of Coastal and Offshore Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: This paper studies the mooring force and movement of 275HP bow-stern double mooring trawler under the action of wind and wave, wave and current or wind and wave and current. The experimental results show that the mooring force and rolling angle under the action of wind and wave are both higher than that under the action of wave. When current velocity is less than 1.0 m/s, the mooring force under the action of wave and current is greater than that under the action of wave, while the rolling angle is slightly less. Bow-stern tension force under the combined action of wind, wave and current is greater than that with the effect of wind and wave or wave and current. Because of the difference of bow-stern area of fishing boat affected by wind and current, the influence of current on bow tension force is greater and the influence of wind on stern is greater. Considering the inhibitory effect of the initial rolling angle of fishing boat on its motion, the rolling angle under the combined action of wind, wave and current is slightly lower than the value under the action of wind and wave. According to the experiment, the allowable wave height of 0.6 m is suggested when there are about force 10 wind and current with the velocity less than 1 m/s at the same time in the port.

Keywords: bow-stern double mooring of a single ship; 275HP trawler; combined action of wind, wave and current; mooring force; movement; allowable wave height

收稿日期: 2015-05-04

*基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目 (2014A10XK05)

作者简介: 孙一艳 (1981—), 女, 高级工程师, 从事渔港相关工程的设计与研究。

渔港是海洋捕捞与沿岸增养殖渔业的重要基地,是沿海防灾减灾体系的重要组成部分,是渔民生产、生活的重要场所^[1]。渔船是渔民生存的必要工具,是海洋捕捞不可替代的载体,只有发展好渔船、保护好渔船才能保证海洋捕捞的高效和安全,保证人民生活的稳定。而海上风、浪、流是威胁渔船安全的主要因素。2013 年,由于台风、洪涝等自然灾害造成全国沉船共 847 艘,船损达到 4 653 艘^[2],因此,开展风浪流对渔船的作用研究很有必要。

渔船港内泊稳分为作业泊稳和锚泊泊稳,栾曙光等^[3]通过试验手段,对渔港作业泊稳进行了研究。目前国内外对船舶锚泊的研究主要集中在锚泊安全和设备^[4-6]、锚链张力数值分析^[7-8]等方面,而对锚泊船只的受力和运动情况的试验研究很少。Kenji 等^[9]对单点锚泊船只在风浪作用下的纵荡、横荡和艏艉摇进行了数值模拟,重点分析了其走锚的情况,但对其它方向的船舶运动没有进行研究。

目前我国渔港港内锚地允许波高的规定均参

照国外类似规定按经验确定,缺乏试验支撑。“十一五”期间,我国渔港港内锚地水域的允许波高按 50 a 一遇有效波高小于 ($H_{1/3}$) 1.0 m 规定;“十二五”期间,我国渔港港内锚地水域的允许波高按照 50 a 一遇,设计高水位情况下, $H_{1\%}$ 波高小于 1.0 m 规定。由于这些规定是根据国内外经验而确定,因此并没有严格的考虑风、浪、流分别和组合作用的情况。孙龙等^[10]对现行的允许波高进行了比较分析,但缺乏试验验证。

本文主要研究 275HP 拖网渔船锚泊系统在风、浪、流组合作用下锚泊力和运动量的变化规律,给出风浪流作用下此渔船港内安全锚泊时的允许波高,为后续的研究和应用奠定了基础。

1 试验概况

1.1 船型资料

本次试验以 275HP 拖网渔船为代表船型。渔船船型资料见表 1。由于渔船在港内多以空载状态锚泊,因此本文主要以空载为研究对象。

表 1 渔船原型资料

全长/ m	型宽/ m	型深/ m	吃水/ m	干舷/ m	排水 量/t	渔船 容积/m ³	重心 高/m	浮心 高/m	稳心 高/m	纵稳心 高/m	初稳心 高/m	重心距 舳距离/m	船舶吃 水/m	船艏吃 水/m	横摇 周期/s	锚链材质、尺寸 (直径×长度)
36	6.28	2.95	1.87	1.08	202	142	2.395	1.105	3.220	47.37	0.743	-0.470	1.770	2.78	5.453	镀锌钢丝绳 φ18 mm×150 m

图 1 为 275HP 拖网渔船原型船的总布置。为了防止模型上水对模型和测量仪器造成损坏,同时由于制作工艺等原因,在船型制作时将最低点处的干舷高度升高了 1.77 m (即图中船面上的粗实线位置,模型尺寸相当于升高了 0.098 m),经过验证,此项调整并没有改变渔船本身的横摇周期等动力特性。据调整后制作的模型如图 2 所示。图 3 给出了空载时原型船和模型船的临界进水角度,即渔船由于转动导致干舷与水面齐平时的角度,当此角度继续增大,干舷低于水面时则会发生渔船进水。从图 3 中可以看到,原型船在船身倾斜约 19°左右时就会发生进水,因此按照此渔船的临界入水角为 19°考虑。

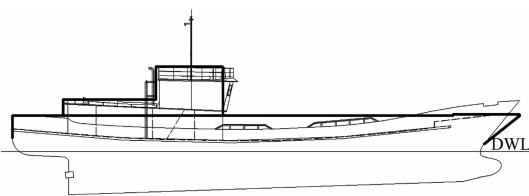


图 1 原型船和模型船对比尺寸



图 2 模型船照片

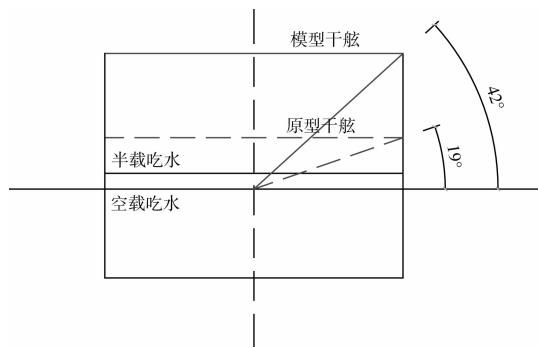


图 3 90°横浪作用时原型和模型的临界入水角度

1.2 水文参数

试验波浪主要采用不规则波作用, 不规则波的频谱采用合田改进的 JONSWAP 谱^[11], 原型的波浪及风流参数如下:

- 1) 有效波高: $H_{13\%} = 0.65、0.8、1.0 \text{ m}$;
- 2) 周期: $T = 5、6、7 \text{ s}$;
- 3) 方向: 90°横浪;
- 4) 水深: 6 m;
- 5) 风速: 9 级为 24.0 m/s, 10 级为 25.9 m/s, 11 级为 29.8 m/s;
- 6) 流速: v_1 为 0.45 m/s, v_2 为 0.95 m/s。

根据试验方案分别模拟了纯浪作用、浪加风作用、浪加流作用以及风浪流联合作用 4 种情况。为了考虑最不利因素的影响, 本次试验的风浪流均采用同一方向作用到渔船上。试验中时间采样间隔为 0.02 s, 采样长度为 8 192 个, 波浪统计分析采用上跨零点法, 每次试验重复 2~3 次, 试验结果采用前 3 个大值的平均值为统计值进行分析。

1.3 模型试验设计与实现

模型试验在三维波浪水池内进行。水池长 40 m, 宽 24 m, 深 1.2 m, 最大工作水深可达 0.7 m, 最大波高 0.30 m。水池一侧装有自行设计制造的多向不规则波造波机。水池配有 1 台 $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 轴流泵的造流系统, 通过调节变频电源从而生成不同流速的水流。风场由轴流叶片风机组成的造风系统在开敞水面实现。

在模型设计中, 根据《波浪模型试验规程》^[12], 采用正态模型, 主要根据重力相似准则进行模型设计, 同时综合考虑试验水池、试验船舶

及试验内容等情况, 模型试验比尺 $\lambda_L = 18$ 。

2 试验结果分析

对纯浪作用下渔船的锚泊力和运动量分析结果表明^[13], 空载 90°浪作用时横摇角度为渔船安全锚泊的控制情况, 因此本文仍空载 90°浪作用时横摇角度为控制参数进行风浪、浪流和风浪流联合作用的研究。

2.1 风浪作用时渔船艏艉拉力及横摇角度的变化

图 4 a) 和 b) 给出了渔船艏艉拉力在纯浪和风浪共同作用下随周期的变化趋势。从图中可以看到, 在本试验研究的风速范围内, 有风时的艏艉拉力明显大于纯浪时的拉力, 且随着风速的增大拉力逐渐增大。同样, 在图 4 c) 中有风时渔船的横摇角度略大于纯浪时的角度, 但横摇角度在不同风级作用下的变化不太大。

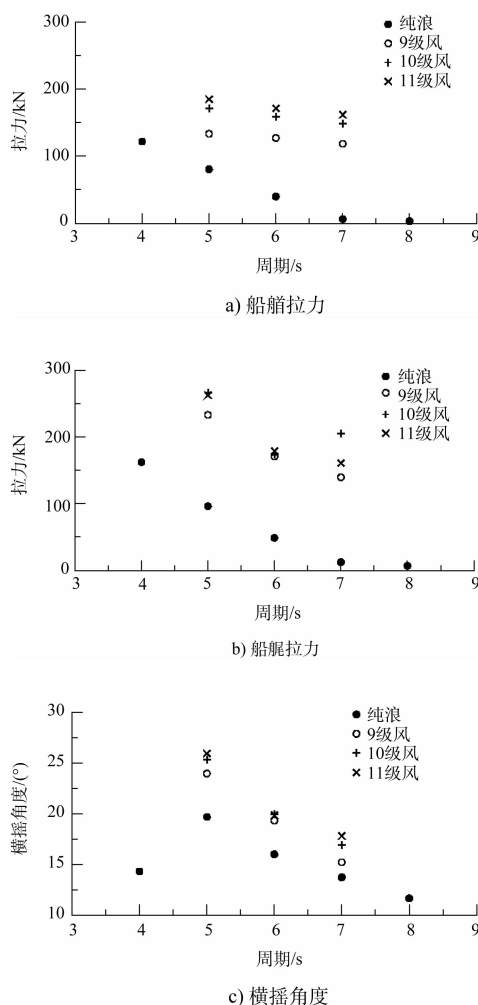


图 4 纯浪与风浪共同作用对渔船艏艉拉力和横摇角度的影响

2.2 浪流作用时渔船艏艉拉力及横摇角度的变化

图 5 a) 和 b) 给出了渔船艏艉拉力在纯浪和浪流共同作用下随波高的变化情况。可以看到, 渔船艏拉力随着波高和流速的增大而逐渐增大, 但 v_1 流速时的船艉拉力有时偏小于纯浪作用的拉力, 可能是由于波流相互作用后波高的变化引起的。图 5 c) 给出了渔船横摇角度的变化情况。从图中可以看到, 此时浪流作用下渔船的横摇角度略小于纯浪作用下的角度, 这是因为纯流作用下渔船具有一较小的初始横摇角度, 对渔船的横摇起到抑制作用。通过统计分析得出, v_1 流速时初始横摇角度约为 1° 左右, v_2 流速时初始横摇角度约为 3° 。

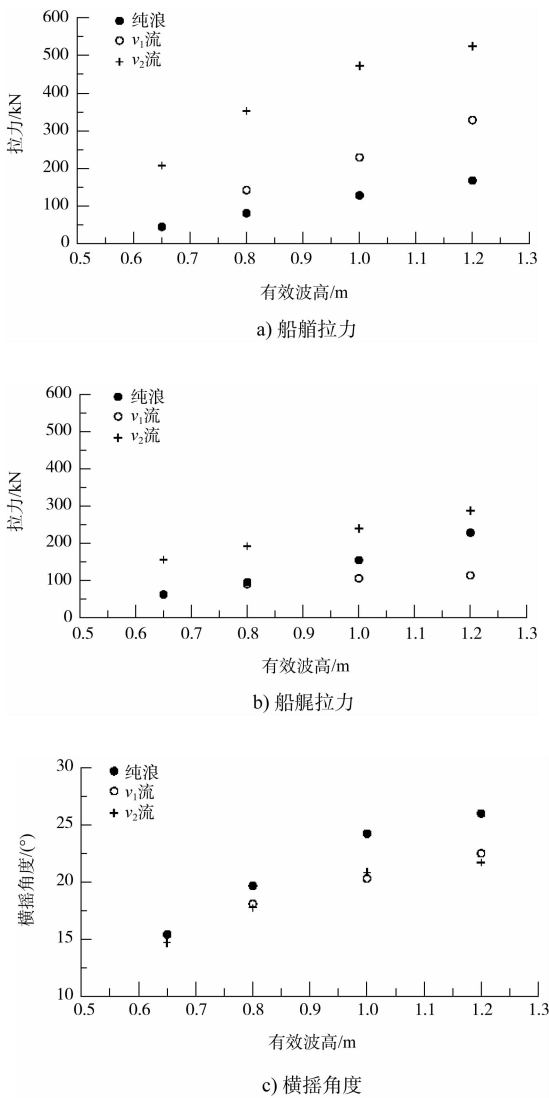


图 5 纯浪和浪流共同作用对渔船艏艉拉力和横摇角度的影响

2.3 风浪流联合作用下艏艉拉力及横摇角度的比较

结合目前多数渔港的设计要求等情况, 本文主要给出 v_2 流速 (0.95 m/s) 和 10 级风联合作用的影响, 其余参数的影响可参考文献[13]。在图 6 a) 和 b) 的艏艉拉力中可以看到, 风浪流共同作用时艏艉拉力均大于波浪单独作用时的结果。在艏拉力图中, v_2 流速作用下的船艏拉力要大于 10 级风作用的结果, 而在船艉拉力图中, 10 级风作用的拉力要大于 v_2 流速作用的结果。由于船艉受风面积大于船艏, 因此导致了风、流对船艉拉力影响略有差别。图 6 c) 显示风浪流作用下渔船横摇角度的比较。从图中可以看到, v_2 流速对渔船横摇角度的抑制作用导致风浪流联合作用下的横摇角度略低于风浪作用下的角度值。

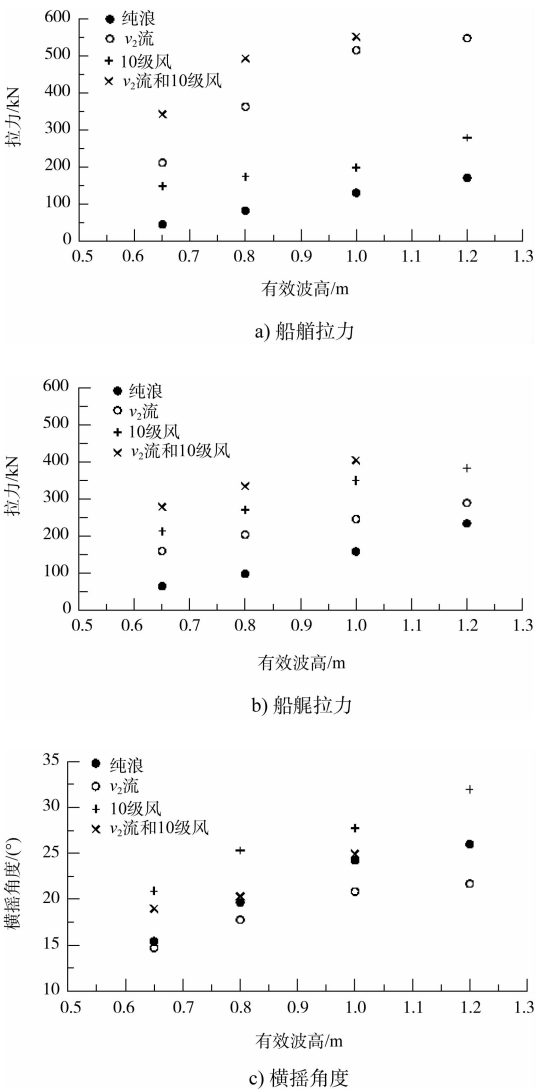


图 6 风浪流联合作用对渔船艏艉拉力和横摇角度的影响

2.4 风浪流联合作用时港内允许波高值

选取横摇角度作为渔船的控制参数^[13], 在渔船达到图 3 所示的临界入水角时所作用的波高即为此情况的允许波高值。表 2 给出了 90°浪作用、渔船空载、5 s 周期^[13]时风浪流共同作用下的渔船试验

结果, 其中的拉力值为艏艉拉力中偏大的值。从表 2 中可以看到, 当港内波浪的主要周期集中在渔船横摇周期 5 s 附近, 且港内同时有 10 级左右风和约 1.0 m/s 流速的流共同作用时, 允许的有效波高在 0.65 m 左右, 建议取 0.6 m。

表 2 浪 + 10 级风 + v_2 流时不规则波试验结果

组次	原型			模型				
	水深 h/m	周期 T/s	有效波高/ m	水深 h/m	周期 T/s	理论有效波高/ m	拉力/ N	角度/ $(^\circ)$
23	6.00	5.00	0.65	0.333	1.18	0.036	58.64	18.98
24			0.80			0.044	77.35	20.31
25			1.00			0.056	94.53	24.93
			1.20			0.067		

注: 空载时入水临界角约为 19°。

3 结论

1) 风浪组合的影响: 有风作用时渔船的艏艉拉力及横摇角度明显大于纯浪作用的结果, 总体来讲, 随着风速的增大呈增大趋势。

2) 浪流组合的影响: 有流作用时渔船的艏艉拉力大于纯浪作用的结果, 且拉力随着流速的增大而增大。流速小于 1.0 m/s 的单纯水流作用时, 渔船处于一个较小的初始横摇角度位置, 导致此时渔船的横摇角度略小于纯浪作用下的角度。

3) 风浪流组合的影响: 风浪流共同作用时, 渔船的艏艉拉力均大于波浪单独作用时的结果。由于船艉受风面积大于船艏, 而船艉水下受流面积小于船艏, 导致艏拉力时流的影响略大于风的影响, 而艉拉力时则风的影响略大于流的影响。横摇角度方面, 风对横摇角度的影响要略大于流对横摇角度的影响。当流速小于 1.0 m/s 时, 由于初始横摇角度的存在, 导致风浪流联合作用下的横摇角度要略低于风浪作用下的角度值。

4) 针对本次试验条件, 当港内波浪的主要周期集中在渔船横摇周期 5 s 附近且港内同时有 10 级左右风和约 1.0 m/s 流速的流共同作用时, 允许的有效波高在 0.65 m 左右, 建议取 0.6 m。

参考文献:

[1] 吴万夫, 张荣权. 渔业工程技术[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 2000.

[2] 农业部渔业局. 2014 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014.

[3] 栾曙光, 王云天, 孟宪钦. 渔港港内作业水域泊稳条件的研究[J]. 海洋工程, 1999, 17(3): 69-76.

[4] 包文婧. 船舶锚系设备智能布局设计研究及软件开发[D]. 大连: 大连理工大学. 2013.

[5] Kinzo I. An investigation on reducing cable tension caused by swing motion of a ship moored at single anchor in wind-II: on reducing cable tension by application of bow thruster [C]// 日本航海学会论文集(66). 日本: 公益社団法人日本航海学会, 1982: 153-161.

[6] Susumu H, Toyosaburo Y A, Yoshiji Y. Experimental study on reducing the swing motion of a ship lying at single anchor in stormy weather [C]// 日本航海学会论文集(69). 日本: 公益社団法人日本航海学会, 1983: 9-15.

[7] 侯建军, 东昉, 石爱国, 等. 锚泊状态下锚链作用力的计算方法[J]. 大连海事大学学报, 2005, 31(4): 10-14.

[8] Shigenobu S, Yuichi Y. A study on anchoring in stormy weather-on the measurement of ship's cable tension at anchor [C]//日本航海学会论文集(74). 日本: 公益社団法人日本航海学会, 1986: 9-17.

[9] Sasa K, Incecik A. Numerical simulation of anchored ship motions due to wave and wind forces for enhanced safety in offshore harbor refuge [J]. Ocean Engineering, 2012, 44: 68-78.

[10] 孙龙, 陈国强, 李醒, 等. 渔港港内锚地泊稳允许波高比较分析[J]. 水运工程, 2011, 461(12): 54-56.

[11] 俞丰修. 随机波浪及其工程应用[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2003.

[12] JTJ-T 234—2001 波浪模型试验规程[S].

[13] 孙一艳. 单船港内艏艉双锚锚泊泊稳条件试验研究[R]. 北京: 中国水产科学研究院, 2015.

(本文编辑 郭雪珍)