

## 小展弦比立式曲面网板的水动力性能

刘 健, 黄洪亮\*, 陈 帅, 李灵智, 吴 越, 徐国栋, 饶 欣

(中国水产科学研究院东海水产研究所, 农业部东海与远洋渔业资源开发利用重点实验室, 上海 200090)

**摘要:** 为研究不同倾角和迎流冲角下小展弦比立式曲面网板的水动力性能, 通过水槽模型实验计算网板的升力系数( $C_L$ )、阻力系数( $C_D$ )、浮力系数( $C_Z$ )和升阻比( $K$ )。结果显示:(1)  $C_L$ 和  $K$  随冲角( $\alpha$ )的增加呈先升后降趋势,  $C_D$ 随冲角的增加呈上升趋势;(2) 无倾角情况下, 冲角为  $30^\circ$  时, 升力系数最大值  $C_{Lmax} = 1.699$ , 此时  $C_D = 1.140$ ,  $K = 1.490$ 。冲角为  $15^\circ$  时, 升阻比最大值  $K_{max} = 2.421$ , 此时  $C_L = 1.120$ ,  $C_D = 0.463$ ;(3) 横倾角( $\beta$ )在  $-10^\circ \sim 10^\circ$  变化时,  $C_{Lmax} = 1.816$  ( $\alpha = 25^\circ, \beta = -10^\circ$ ),  $K_{max} = 3.405$  ( $\alpha = 10^\circ, \beta = -10^\circ$ )。横倾角为  $-5^\circ$  和  $-10^\circ$  时, 网板具有一定浮力。冲角为  $10^\circ \sim 30^\circ$  时,  $C_Z$  平均值分别为 0.16 和 0.25;(4) 纵倾角( $\gamma$ )在  $-10^\circ \sim 10^\circ$  变化时,  $C_{Lmax} = 1.823$  ( $\alpha = 25^\circ$  或  $\alpha = 30^\circ, \gamma = -10^\circ$ ),  $K_{max} = 2.729$  ( $\alpha = 5^\circ, \gamma = -5^\circ$ )。纵倾角为  $-5^\circ$ 、 $-10^\circ$  和  $5^\circ$  时, 网板具有一定浮力。冲角为  $10^\circ \sim 30^\circ$  时,  $C_Z$  平均值分别为 0.16、0.18 和 0.16。结果表明, 该网板的最佳工作冲角范围为  $15^\circ \sim 30^\circ$ , 该冲角范围内网板  $C_L > 1.1$  且  $K > 1.45$ 。

**关键词:** 立式曲面网板; 水动力性能; 模型实验

**中图分类号:** S 971.4

**文献标志码:** A

拖网网板是单船拖网作业中扩张网具的重要构件。网板水动力性能的优劣, 是影响渔获量和捕捞效率的重要因素<sup>[1-4]</sup>。国外发达渔业国家如日本、丹麦等都十分重视网板水动力性能的改进研究, 相继开发出综合型网板(椭圆形曲面开缝网板)、立式 V 型曲面网板和矩形 V 型曲面开缝网板<sup>[3-4]</sup>。近年来又开发出水动力效率更高、稳定性更好的网板, 如复翼式网板和喷射式网板等<sup>[3]</sup>。我国在拖网网板水动力性能的基础研究方面比较滞后, 国产网板作业性能仍落后于国外先进的渔业国家, 目前国内的网板型式以矩形平面网板、综合型网板为主, 并逐渐借鉴国外的矩形 V 型曲面网板和立式 V 型曲面网板型式<sup>[3-5]</sup>。

在设计新型网板时, 通常依靠模型实验的方法, 计算相关的水动力学系数后分析其水动力性能<sup>[2,6-7]</sup>。随着计算机模拟仿真技术的发展, 也有

学者利用数学模型, 综合分析拖网系统主要组成部分曳纲、网板和网具的受力情况<sup>[8-10]</sup>。根据拖网网板的工作条件, 进行水槽模型实验比较理想<sup>[6]</sup>。日本学者主要通过水槽模型实验分析网板的水动力性能<sup>[11-15]</sup>。福田贤吾等<sup>[11-13]</sup>在水槽中测定了不同展弦比和圆弧面曲率的复翼式网板的水动力性能参数。山崎慎太郎等<sup>[14]</sup>通过水槽模型实验分析了矩形 V 型曲面网板的水动力性能优于矩形平面网板。目前国内网板模型实验主要在风洞设备中完成<sup>[16-19]</sup>。关长涛等<sup>[16]</sup>对 5 种大展弦比立式曲面网板的水动力性能进行分析, 优选出具有扩张性能好、冲角范围大和曳行稳定等优点的大展弦比立式曲面缝翼式网板。王明彦等<sup>[17]</sup>通过正交优选实验得出影响立式 V 型曲面网板水动力性能的因素依次是网板板面折角、展弦比和后退角。张勋等<sup>[18]</sup>、王锦浩等<sup>[19]</sup>分别分析了矩形 V 型曲面网板开缝口导流板曲率、展弦

收稿日期:2013-06-13 修回日期:2013-09-10

资助项目:国家“八六三”高技术研究发展计划(2012AA092301);公益性行业(农业)科研专项(201203018);国家科技支撑计划(2013BAD13B03)

通信作者:黄洪亮, E-mail:ecshhl@163.com

比、缝口位置和缝口宽度等参数对网板水动力性能的影响。李崇聪<sup>[20]</sup>针对近海小型单拖网渔船使用的V型网板进行水槽模型试验和数值模拟,提出网板性能的优化改进建议。

根据不同生产情况合理调节网板的迎流冲角、横倾角和纵倾角,调整网板的水动力性能,使网板达到稳定平衡工作状态,可以有效提高拖网效率。如网板的迎流冲角超过临界冲角,不但网具不能充分扩张,而且极大浪费了拖力<sup>[1-2,6]</sup>。通过调节横倾角、纵倾角,可以达到调整沉降力以及使网板更适合底层或表层拖网作业的目的<sup>[2]</sup>。本研究对一种小展弦比立式曲面网板进行了水槽模型实验,对其不同倾角下的水动力性能进行比较,为网板的合理使用和进一步开发新型高性能

网板提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验条件

实验在东海水产研究所循环水槽中完成,水槽实验段尺度为180 cm × 50 cm × 50 cm,最大流速为2.5 m/s。实验模型位于水槽实验段中部,通过连接杆与三分力传感器相连,三分力传感器与旋转工作台固定(图1)。通过调节旋转工作台可以改变模型的迎流角度,通过调节连接杆可以改变模型的倾角。测量仪器为日本共和电业制造的LSM-B-500NSA1-P型三分力传感器,量程为500 N,通过电脑连接记录测量数据。

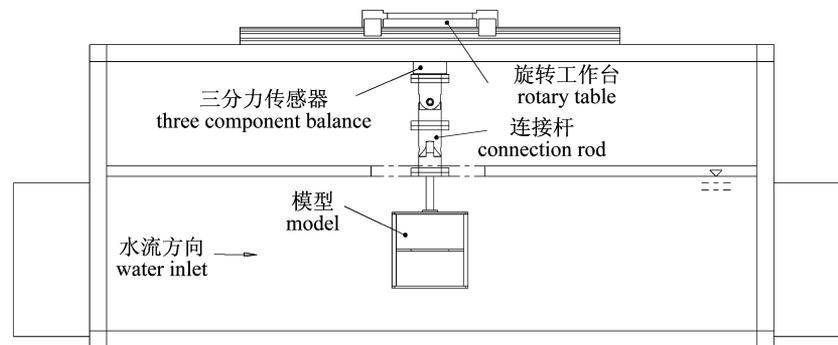


图1 循环水槽示意图

Fig.1 Experimental facility of circulating tank

### 1.2 网板模型

根据流体力学相似性原理,本实验采用雷诺相似准则,即网板模型雷诺数等于实物雷诺数。雷诺数计算公式:

$$Re = V \cdot l / \nu \quad (1)$$

式中, $Re$ 为雷诺数, $V$ 为来流速度(m/s), $l$ 为翼弦长(m), $\nu$ 为流体运动黏度( $m^2/s$ )。

网板模型如图2所示,比例尺为1:5,采用不锈钢制作,厚度为2 mm。网板内侧圆弧最大相对弯度为15%,外侧圆弧面最大相对弯度为8%。翼弦长0.2 m,展弦比为1.0,截面积为0.04  $m^2$ 。迎流冲角 $\alpha$ 为网板翼弦与来流方向的夹角,横倾角 $\beta$ 为网板横倾时的XZ平面和网板正立时XZ平面的夹角,纵倾角 $\gamma$ 为网板纵倾时的YZ平面和网板正立时YZ平面的夹角。

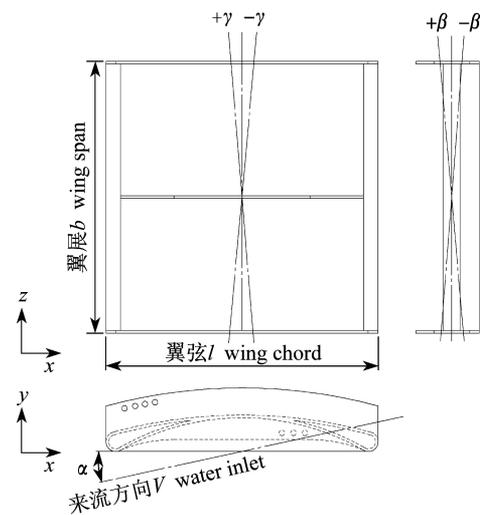


图2 小展弦比立式曲面网板示意图

Fig.2 Sketch map of low aspect ratio vertical cambered otter board

### 1.3 实验工况

具体因素及水平见表 1。迎流冲角在  $0^\circ \sim 40^\circ$  每  $5^\circ$  为一档,从  $40^\circ \sim 60^\circ$  每  $10^\circ$  为一档。纵倾角为  $0^\circ$  时,横倾角从  $-10^\circ \sim 10^\circ$  每  $5^\circ$  为一档。横倾角为  $0^\circ$  时,纵倾角从  $-10^\circ \sim 10^\circ$  每  $5^\circ$  为一档。实验流速范围为  $0.2 \sim 1.2$  m/s。

表 1 实验方案  
Tab. 1 Experimental program

因素 factor	水平 level
迎流冲角 $\alpha$ angle of attack	$0^\circ; 5^\circ; 10^\circ; 15^\circ; 20^\circ; 25^\circ; 30^\circ; 35^\circ; 40^\circ; 50^\circ; 60^\circ$
横倾角 $\beta$ heeling angle	$-10^\circ; -5^\circ; 0^\circ; 5^\circ; 10^\circ$
纵倾角 $\gamma$ trim angle	$-10^\circ; -5^\circ; 0^\circ; 5^\circ; 10^\circ$
流速 m/s flow velocity	$0.2; 0.3; 0.4; 0.6; 0.8; 1.0; 1.2$

注:横倾角为  $-10^\circ$  和  $-5^\circ$  时,以  $45^\circ$  冲角代替  $50^\circ$  和  $60^\circ$  冲角  
Notes: The test angle of attack is  $45^\circ$  instead of  $50^\circ$  and  $60^\circ$  when the heeling angle is  $-10^\circ$  and  $-5^\circ$

### 1.4 数据处理

根据三分力传感器记录的阻力  $F_x$ 、升力  $F_y$  及垂直方向的浮力  $F_z$ ,经过支杆干扰修正,计算网板的阻力系数  $C_D$ 、升力系数  $C_L$ 、浮力系数  $C_Z$  和升阻比  $K$ 。计算公式如下:

$$C_D = \frac{F_x}{0.5\rho V^2 S} \quad (2)$$

$$C_L = \frac{F_y}{0.5\rho V^2 S} \quad (3)$$

$$C_Z = \frac{F_z}{0.5\rho V^2 S} \quad (4)$$

$$K = C_L/C_D \quad (5)$$

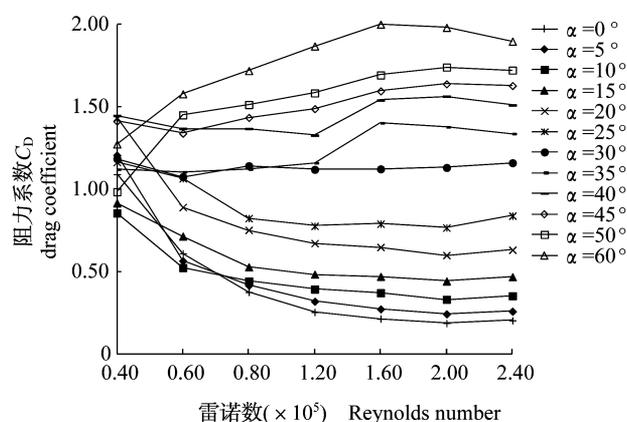
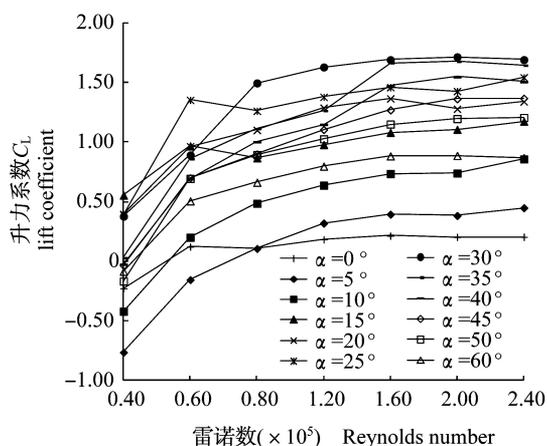


图 3 升力系数、阻力系数与雷诺数的关系

Fig. 3 Lift coefficient and drag coefficient plotted versus Reynolds number for each angle of attack

式中,  $\rho$  为流体密度,  $V$  为流速 (m/s),  $S$  为网板模型截面积 ( $m^2$ )。

在实验中,当流速大于某一数值时,升力系数(或阻力系数)基本保持不变即进入自动模型区,将自动模型区内测得的升力系数(或阻力系数)取平均值,即得该模型在该冲角下的升力系数(或阻力系数)。本实验所讨论升力系数、阻力系数和浮力系数均为进入自动模型区后的升力系数、阻力系数和浮力系数的平均值。

## 2 结果

### 2.1 无倾角时网板水动力性能

当流速  $V \geq 0.8$  m/s 时,升力系数和阻力系数基本保持不变即进入自动模型区(图 3)。网板升力系数随冲角的增加呈先升后降趋势(图 4)。升力系数最大值  $C_{Lmax} = 1.699$  ( $\alpha = 30^\circ$ ),此时  $C_D = 1.140$ ,  $K = 1.490$ 。网板阻力系数随冲角的增加呈上升趋势。网板升阻比随冲角的增加呈先升后降趋势。升阻比最大值  $K_{max} = 2.421$  ( $\alpha = 15^\circ$ ),此时  $C_L = 1.120$ ,  $C_D = 0.463$ 。

### 2.2 横倾角变化时网板水动力性能

流速  $V \geq 0.8$  m/s 时,升力系数、阻力系数和浮力系数进入自动模型区。当横倾角一定时,网板升力系数随冲角的增加呈先升后降趋势(图 5)。横倾角从  $-10^\circ \sim 10^\circ$  变化时,升力系数最大值  $C_{Lmax} = 1.816$  ( $\alpha = 25^\circ, \beta = -10^\circ$ ) (表 2)。网板阻力系数随冲角的增加呈上升趋势。网板升阻比随冲角的增加呈先升后降趋势。升阻比最大值  $K_{max} = 3.405$  ( $\alpha = 10^\circ, \beta = -10^\circ$ )。

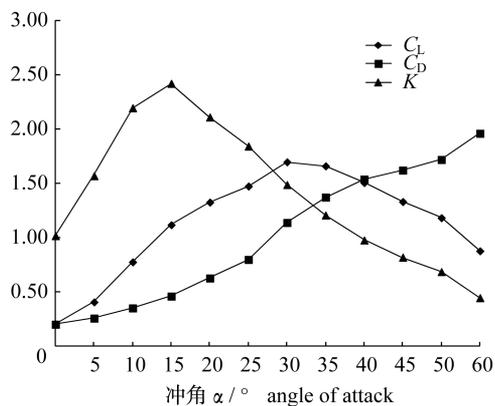


图4 无倾角时网板升力系数、阻力系数和升阻比  
Fig.4 The lift coefficient, drag coefficient and lift to drag ratio of otter board ( $\beta = 0^\circ, \gamma = 0^\circ$ )

当冲角一定时,升力系数随横倾角从  $-10^\circ \sim 10^\circ$  的变化呈下降趋势。当冲角为  $0^\circ \sim 35^\circ$  时,升力系数随横倾角的变化有明显波动;当冲角  $\geq 35^\circ$  时,随着横倾角的变化升力系数变化幅度变小。冲角一定时,随着横倾角的变化阻力系数变化幅度很小。

当冲角一定时,浮力系数随横倾角从  $-5^\circ \sim -10^\circ$  的变化呈上升趋势,此时网板具有一定浮力。冲角从  $10^\circ \sim 30^\circ$  时,浮力系数变化不大,平均值分别为  $0.16 (\beta = -5^\circ)$  和  $0.25 (\beta = -10^\circ)$ 。横倾角从  $5^\circ$  至  $10^\circ$  变化时浮力系数为负值,网板此时具有沉降力,绝对值呈上升趋势。随冲角的增加浮力系数绝对值呈线性增长趋势。

当冲角为  $0^\circ \sim 25^\circ$  时,升阻比随横倾角的变化有明显波动;当冲角  $\geq 30^\circ$  时,升阻比基本不变。

### 2.3 纵倾角变化时网板水动力性能

流速  $V \geq 0.8 \text{ m/s}$  时,升力系数、阻力系数和浮力系数进入自动模型区。当纵倾角一定时,网板升力系数随冲角的增加呈先升后降趋势(图5)。纵倾角从  $-10^\circ \sim 10^\circ$  变化时,升力系数最大值  $C_{L\max} = 1.823 (\alpha = 25^\circ \text{ 或 } \alpha = 30^\circ, \gamma = -10^\circ)$ (表2)。网板阻力系数随冲角的增加呈上升趋势。网板升阻比随冲角的增加呈先升后降趋势。升阻比最大值  $K_{\max} = 2.729 (\alpha = 5^\circ, \gamma = -5^\circ)$ 。

当冲角一定时,纵倾角由  $-5^\circ$  变为  $-10^\circ$  时,升力系数呈上升趋势。纵倾角由  $10^\circ$  变为  $5^\circ$  时,升力系数呈上升趋势。当冲角从  $20^\circ \sim 35^\circ$  时,纵倾角依次从  $10^\circ, -5^\circ, 0^\circ, 5^\circ, -10^\circ$  变化时,升力系数呈上升趋势。当冲角从  $0^\circ \sim 35^\circ$  时,升力系数随纵倾角的变化有明显波动;当冲角  $\geq 35^\circ$  时,随着纵倾角的变化升力系数变化幅度变小。冲角一定时,随着纵倾角的变化阻力系数变化幅度很小。

当冲角一定时,浮力系数随纵倾角从  $-5^\circ \sim -10^\circ$  的变化呈上升趋势,纵倾角为  $5^\circ$  时的浮力系数介于纵倾角为  $-5^\circ$  和  $-10^\circ$  时的浮力系数之间,此时网板具有一定浮力。冲角从  $10^\circ \sim 30^\circ$  时浮力系数变化不大,平均值分别为  $0.16 (\gamma = -5^\circ \text{ 或 } \gamma = 5^\circ)$  和  $0.18 (\gamma = -10^\circ)$ 。纵倾角为  $10^\circ$  时浮力系数为负值,网板此时具有沉降力,绝对值呈先升后降趋势。

当冲角从  $0^\circ \sim 25^\circ$  时,升阻比随纵倾角的变化有明显波动;当冲角  $\geq 30^\circ$  时,升阻比基本不变。

表2 不同倾角下最大升力系数和最大升阻比

Tab.2 The max lift coefficient and the max lift to drag ratio of otter board at different heeling angle and trim angle

横倾角 $\beta$ heeling angle	$C_{L\max}$	$K_{\max}$	纵倾角 $\gamma$ trim angle	$C_{L\max}$	$K_{\max}$
$-10^\circ$	1.816 ( $\alpha = 25^\circ$ )	3.405 ( $\alpha = 10^\circ$ )	$-10^\circ$	1.823 ( $\alpha = 25^\circ \sim 30^\circ$ )	2.406 ( $\alpha = 15^\circ$ )
$-5^\circ$	1.736 ( $\alpha = 30^\circ$ )	2.827 ( $\alpha = 15^\circ$ )	$-5^\circ$	1.621 ( $\alpha = 35^\circ$ )	2.729 ( $\alpha = 5^\circ$ )
$0^\circ$	1.699 ( $\alpha = 30^\circ$ )	2.421 ( $\alpha = 15^\circ$ )	$0^\circ$	1.699 ( $\alpha = 30^\circ$ )	2.421 ( $\alpha = 15^\circ$ )
$5^\circ$	1.636 ( $\alpha = 30^\circ$ )	2.601 ( $\alpha = 10^\circ$ )	$5^\circ$	1.766 ( $\alpha = 30^\circ$ )	2.572 ( $\alpha = 10^\circ$ )
$10^\circ$	1.576 ( $\alpha = 35^\circ$ )	2.671 ( $\alpha = 5^\circ$ )	$10^\circ$	1.598 ( $\alpha = 35^\circ$ )	2.202 ( $\alpha = 15^\circ$ )

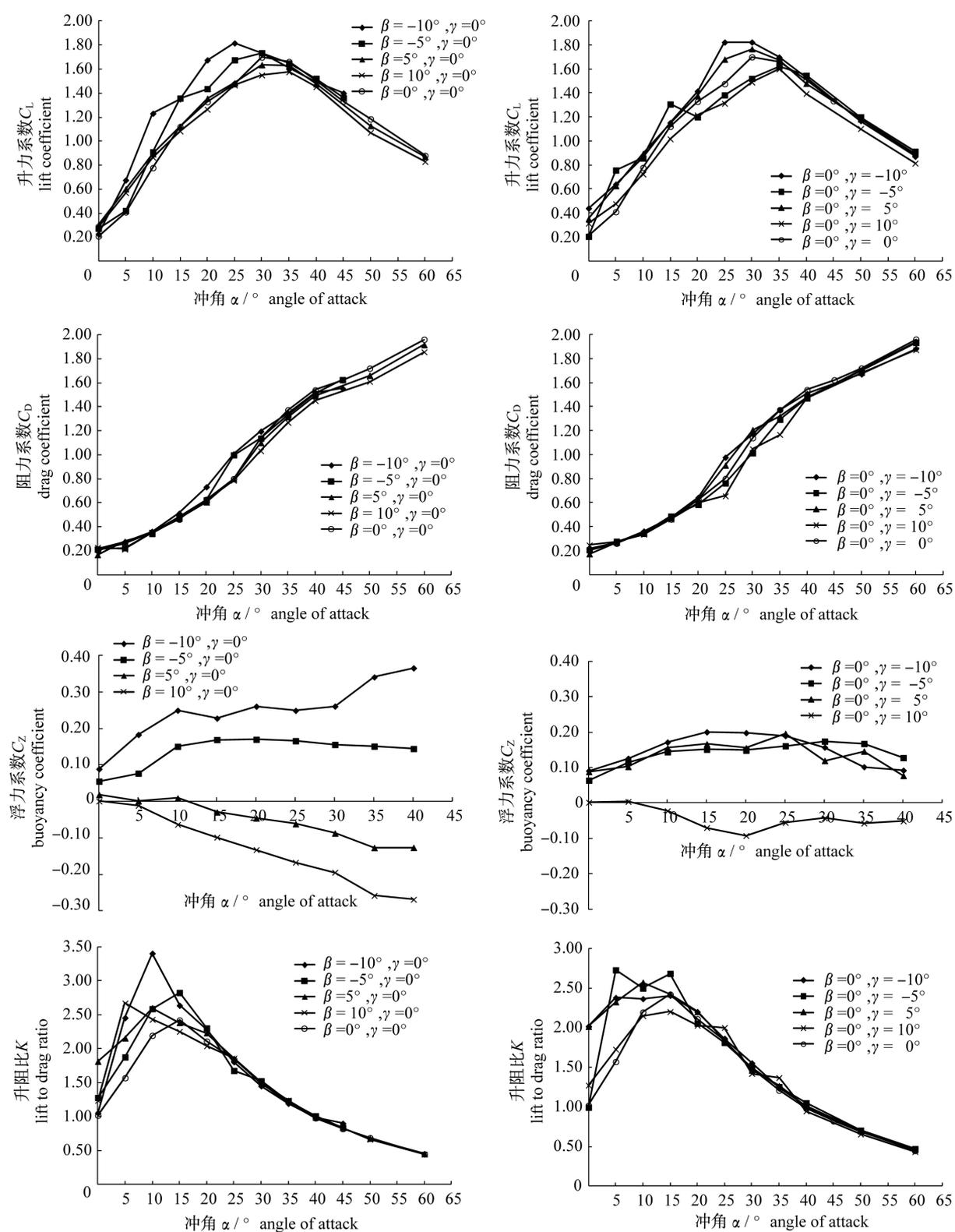


图5 不同倾角下网板升力系数、阻力系数、浮力系数和升阻比

Fig. 5 The lift coefficient, drag coefficient, buoyancy coefficient and lift to drag ratio of otter board at different heeling angle and trim angle

### 3 讨论

#### 3.1 网板最佳工作状态

无倾角时网板升力系数  $C_L > 1.1$  且升阻比  $K > 1.45$  的冲角范围为  $15^\circ \sim 30^\circ$ 。冲角为  $30^\circ$  时,网板升力系数最大值  $C_{L_{\max}} = 1.699$ ,此时  $C_D = 1.140, K = 1.490$ ;冲角为  $15^\circ$  时,网板升阻比最大值  $K_{\max} = 2.421$ ,此时  $C_L = 1.120, C_D = 0.463$ 。

横倾角为  $-5^\circ$  和  $-10^\circ$  时,网板具有一定浮力。冲角从  $10^\circ \sim 30^\circ$  时,浮力系数变化不大,平均值分别为  $0.16(\beta = -5^\circ)$  和  $0.25(\beta = -10^\circ)$ 。横倾角为  $-5^\circ$  时,网板升力系数  $C_L > 1.1$  且升阻比  $K > 1.45$  的冲角范围为  $15^\circ \sim 30^\circ$ ;横倾角为

$-10^\circ$  时,网板升力系数  $C_L > 1.1$  且升阻比  $K > 1.45$  的冲角范围为  $10^\circ \sim 30^\circ$ 。

纵倾角为  $-5^\circ$ 、 $-10^\circ$  和  $5^\circ$  时,网板具有一定浮力。冲角从  $10^\circ \sim 30^\circ$  时,浮力系数变化不大,平均值分别为  $0.16(\gamma = -5^\circ$  或  $\gamma = 5^\circ)$  和  $0.18(\gamma = -10^\circ)$ 。纵倾角为  $-5^\circ$ 、 $-10^\circ$  和  $5^\circ$  时,网板升力系数  $C_L > 1.1$  且升阻比  $K > 1.45$  的冲角范围为  $15^\circ \sim 30^\circ$ 。根据实验结果,建议该网板的最佳工作冲角范围为  $15^\circ \sim 30^\circ$ 。

#### 3.2 不同类型网板水动力性能比较

随着远洋拖网渔业的发展,根据网板性能和作业特点合理选用网板是实现高效捕捞的关键<sup>[1-2,6]</sup>。不同类型的网板水动力性能如表 3 所示。

表 3 不同类型网板水动力性能比较

Tab.3 Hydrodynamic performance comparison among different types of otter board

网板类型 types	工作冲角 working angle of attack	升力系数 $C_L$ lift coefficient	阻力系数 $C_D$ drag coefficient	升阻比 $K$ lift to drag ratio
矩形平面网板 <sup>[4]</sup> rectangular flat otter board	$40^\circ$	0.82	0.72	1.14
椭圆形曲面开缝网板 <sup>[4]</sup> oval cambered otter board	$35^\circ$	0.93	0.74	1.25
大展弦比立式曲面网板 <sup>[4]</sup> high aspect ratio vertical cambered otter board	$25^\circ$	1.30	0.50	2.60
立式 V 型曲面网板 <sup>[17]</sup> vertical cambered V type otter board	$25^\circ$	1.68	0.72	2.33
矩形 V 型曲面网板 <sup>[18]</sup> rectangular cambered V type otter board	$35^\circ$	1.31	0.75	1.75
本研究 this study	$30^\circ$	1.70	1.14	1.49

矩形平面网板和椭圆形曲面开缝网板的水动力性能较低,其升力系数和升阻比均为最低。随着渔船的大型化和技术水平的发展这两类网板已无法与新型高性能网板相比。大展弦比立式曲面网板和立式 V 型曲面网板的升阻比均大于 2.0,扩张效率明显高于其他类型。但由于展弦比较大,在实际使用中对操作技术要求较高<sup>[1,6]</sup>。矩形 V 型曲面网板和本实验的小展弦比立式曲面网板均为小展弦比网板,作业稳定性要优于立式 V 型曲面网板。虽然小展弦比立式曲面网板的阻力系数最高,升阻比低于矩形 V 型曲面网板。但小展弦比立式曲面网板的升力系数为最高,扩张性能优于其他类型网板。

#### 参考文献:

[1] 黄锡昌. 捕捞学[M]. 重庆:重庆出版社,2001: 258-273.

[2] 郭根喜,刘同渝,黄小华,等. 拖网网板动力学理论研究与实践[M]. 广州:广东科技出版社,2008: 160-211.

[3] 徐宝生,张勋,王明彦. 单船拖网网板的现状及发展趋势[J]. 福建水产,2010(1):86-90.

[4] 张勋,王明彦,徐宝生. 拖网网板型式、结构与性能的研究与应用进展[J]. 中国水产科学,2004,11(增1):107-113.

[5] 徐宝生,张勋,郁岳峰,等. 矩形 V 型曲面网板和 V 型网板生产性对比试验[J]. 海洋渔业,2006,28(1):66-70.

[6] 陈雪忠,黄锡昌. 渔具模型试验理论与方法[M]. 上海:上海科学技术出版社,2011:388-425.

[7] Salaa A, Farranb J P, Antonijuan J, et al. Performance and impact on the seabed of an existing- and an experimental-otterboard Comparison between model testing and full-scale sea trials[J]. Fisheries Research,2009,100(2):156-166.

[8] Park H H. A method for estimating the gear shape of

<http://www.scxuebao.cn>

- a mid-water trawl[J]. *Ocean Engineering*, 2007, 34(3-4):470-478.
- [9] Prat J, Antonijuan J, Folch A, *et al.* A simplified model of the interaction of the trawl warps, the otterboards and netting drag[J]. *Fisheries Research*, 2008, 94(1):109-117.
- [10] Sun X F, Yin Y, Jin Y C, *et al.* The modeling of single-boat, mid-water trawl systems for fishing simulation[J]. *Fisheries Research*, 2011, 109(1):7-15.
- [11] 福田賢吾, 松田皎, 胡夫祥, 等. 複葉型オッターボードの流体特性に関する模型実験[J]. *日本水産學會誌*, 1997, 63(2):207-212.
- [12] 福田賢吾, 胡夫祥, 東海正, 等. 複葉型オッターボードの流体特性に及ぼす湾曲板の縦横比および反り比の影響[J]. *日本水産學會誌*, 1999, 65(5):860-865.
- [13] 福田賢吾, 胡夫祥, 東海正, 等. 湾曲板の揚抗力特性に及ぼす縦横比の影響[J]. *日本水産學會誌*, 2000, 66(1):97-103.
- [14] 山崎慎太郎, 松下吉樹, 川島敏彦, 等. 伊勢湾底びき網漁業に用いられるオッターボードの性能評価と新型オッターボードの提案[J]. *日本水産學會誌*, 2007, 73(2):220-225.
- [15] 木下弘実, 熊沢泰生. 柔構造拡網装置(カイト)を用いたトロール漁具の開発[J]. *日本水産工学*, 2011, 48(2):89-98.
- [16] 关长涛, 潘生弟. 大型拖网渔船网板性能的试验研究[J]. *海洋水产研究*, 1998, 19(2):93-100.
- [17] 王明彦, 王锦浩, 张勋, 等. 立式V型曲面网板的水动力性能[J]. *水产学报*, 2004, 28(3):311-315.
- [18] 张勋, 王锦浩, 王明彦, 等. 矩形V型曲面网板水动力性能的研究 I: 导流板曲率与网板水动力性能的关系[J]. *中国水产科学*, 2004, 11(增1):5-8.
- [19] 王锦浩, 张勋, 王明彦, 等. 矩形V型曲面网板水动力性能的研究 II: 展弦比、缝口位置、缝口宽度对网板水动力性能的影响[J]. *中国水产科学*, 2004, 11(增1):9-13.
- [20] 李崇聰. V型网板水动力性能和数值模拟初步研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.

## Hydrodynamic characteristics of low aspect ratio vertical cambered otter board

LIU Jian, HUANG Hongliang\*, CHEN Shuai, LI Lingzhi, WU Yue, XU Guodong, RAO Xin

(Key Laboratory of East China Sea and Oceanic Fishery Resources Exploitation, Ministry of Agriculture,  
East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

**Abstract:** For analyzing the hydrodynamic performance of low aspect ratio vertical cambered otter board at different angles of inclination and angle of attack, the lift coefficient ( $C_L$ ), drag coefficient ( $C_D$ ), buoyancy coefficient ( $C_z$ ) and lift to drag ratio ( $K$ ) were calculated through the tank model experiment. The experimental results were as follows: (1)  $C_L$  and  $K$  showed a trend of first increasing and then decreasing with the increase of angle of attack ( $\alpha$ ),  $C_D$  reflected an upward trend with the increase of  $\alpha$ ; (2) With no angle of inclination, when  $\alpha = 30^\circ$ , the max lift coefficient ( $C_{Lmax}$ ) was 1.699, in this case  $C_D = 1.140$ ,  $K = 1.490$ . When  $\alpha = 15^\circ$ , the max lift to drag ratio ( $K_{max}$ ) was 2.421, in this case  $C_L = 1.120$ ,  $C_D = 0.463$ ; (3) When the heeling angle ( $\beta$ ) changed between  $-10^\circ - 10^\circ$ ,  $C_{Lmax} = 1.816$  ( $\alpha = 25^\circ, \beta = -10^\circ$ ),  $K_{max} = 3.405$  ( $\alpha = 10^\circ, \beta = -10^\circ$ ). The otter board had a certain buoyancy when  $\beta$  was  $-5^\circ$  and  $-10^\circ$ , the average buoyancy coefficient was 0.16 and 0.25 respectively, when  $\alpha$  was between  $10^\circ - 30^\circ$ ; (4) When the trim angle ( $\gamma$ ) changed between  $-10^\circ - 10^\circ$ ,  $C_{Lmax} = 1.823$  ( $\alpha = 25^\circ$  or  $\alpha = 30^\circ, \gamma = -10^\circ$ ),  $K_{max} = 2.729$  ( $\alpha = 5^\circ, \gamma = -5^\circ$ ). The otter board had a certain buoyancy when  $\gamma$  was  $-5^\circ$ ,  $-10^\circ$  and  $5^\circ$ , the average buoyancy coefficient was 0.16, 0.18 and 0.16 respectively, when  $\alpha$  was between  $10^\circ - 30^\circ$ . It is suggested that the best working scope of angle of attack was between  $15^\circ - 30^\circ$ , in which case  $C_L > 1.1$  and  $K > 1.45$ . Finally compared the hydrodynamic performance of different types of otter board, we provided a reference basis for the rational use and further development of the new types of otter board.

**Key words:** vertical cambered otter board; hydrodynamic characteristics; model test

**Corresponding author:** HUANG Hongliang. E-mail: ecshhl@163.com