



## 帆张网帆布面积对网具作业性能的影响

李灵智<sup>1,2</sup>, 杨嘉樑<sup>1,2</sup>, 饶欣<sup>1,2</sup>, 陈帅<sup>1,2</sup>, 黄洪亮<sup>1,2\*</sup>

(1. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 农业农村部东海与  
远洋渔业资源开发利用重点实验室, 上海 200090;

2. 中国水产科学研究院海洋捕捞工程技术研究中心, 上海 200090)

**摘要:** 帆布面积增加在促进网口扩张的同时, 也使网具整体阻力增加。为了明晰帆布面积对网具整体作业性能的影响, 以网口面积与网具阻力的比值 ( $K$ ) 作为帆张网网具性能比较参数, 通过模型实验分析帆布面积对网具作业性能的影响, 结果显示, 流速为 0.24 m/s 时,  $K$  值随帆布面积增加而递增, 但增速逐渐趋缓, 帆布面积趋于 0.288 m<sup>2</sup> 时,  $K$  呈现接近峰值的特征; 流速  $\geq 0.4$  m/s 时,  $K$  值保持平稳, 与帆布面积相关性不明显; 因此, 帆布面积趋于 0.288 m<sup>2</sup> 时, 此时帆布面积与网具匹配系数 ( $P$ ) 趋于 0.072, 网具可在各种流速条件下均保持较好的作业性能, 根据实验观察, 此时背腹网网衣受力均匀, 网型较好; 网具整体阻力 ( $F$ ) 与帆布面积 ( $A$ ) 和流速 ( $V$ ) 呈幂函数关系, 其表达式为  $F=334.32 \times A^{0.5} \times V^{1.61}$ ; 帆布展弦比对  $K$  值变化趋势影响较小; 以上结论可为帆张网帆布、锚与网具的合理配置提供科学依据。

**关键词:** 帆张网; 帆布面积; 网具阻力; 网具作业性能

**中图分类号:** S 971

**文献标志码:** A

帆张网分类上属于单锚张网张网, 利用帆布实现网口水平扩张, 具有能耗低、捕捞效率高优点, 自 20 世纪 80 年代试验成功后, 在近海渔业中得到广泛应用<sup>[1-2]</sup>, 并衍生出多种针对特定捕捞对象的作业网具, 如毛虾帆张网<sup>[3]</sup>、海蜇帆张网<sup>[4]</sup>、鲛鳗帆张网<sup>[2]</sup> 等等, 近年来一直保持较大发展规模, 是中国近海渔业中一种重要的捕捞渔具。

帆张网网具主尺度普遍显著大于传统张网, 最大拉直网口周长可达 600 m 以上<sup>[1]</sup>, 捕捞能力非常强。生产者为了追求短期经济效益, 使用较小网目帆张网, 使得幼鱼、非目标种类被大量兼捕, 给近海渔业资源养护造成较大负面影响。为规范帆张网渔业发展, 国内渔业管理部

门相继制定了系列管理措施, 如《浙江渔业管理条例》曾在 2006 年将帆张网列为禁用渔具; 2013 年《农业部关于实施海洋捕捞准用渔具和过渡渔具最小网目尺寸制度的通告》规定帆张网最小网目尺寸为 54 mm; 2014 年, 浙江省将帆张网从禁用渔具调整为过渡渔具。国内学者也开展了系列网目尺寸选择性研究<sup>[5-7]</sup>, 为相关管理政策制定、平衡帆张网渔业发展和资源养护需要提供了科学依据。

帆张网主要部件包括锚、帆布、网、浮球、沉块和纲索, 在水流冲击下, 帆布产生扩张力和阻力, 结合浮沉力, 促使网口向外扩张, 网口张开导致网具阻力激增, 帆布迎流冲角、叉纲配备、网型等均与网具作业性能密切相关<sup>[8]</sup>。

收稿日期: 2020-04-22 修回日期: 2020-07-01

资助项目: 国家重点研发计划 (2017YFE0111100)

第一作者: 李灵智 (照片), 从事渔具渔法研究, E-mail: lilz@ecsf.ac.cn

通信作者: 黄洪亮, E-mail: ecshhl@163.com



早期研究表明, 帆张网帆布最佳安装角度表征值为  $16.1^{\circ}\sim 17.4^{\circ}$ <sup>[9-10]</sup>, 其背腹网翼形结构的作业性能和工况均明显优于传统截平结构<sup>[11]</sup>, 数值计算方法的应用也为帆张网水动力特性研究提供新的途径<sup>[12]</sup>。帆张网锚、帆布和网三者之间相互作用、相互制约, 从而达到平衡, 锚所能承受的负荷限制网具规格, 帆布、纲索和浮沉力与网具的合理配置有助于网具性能优化和作业安全性能提升<sup>[8]</sup>。目前, 帆张网帆布面积与网具配比主要根据生产经验确定(帆布面积与网具装配面积配比经验值为 7%~10%)<sup>[4]</sup>, 系统的相关性研究未见有关报道。本实验通过模型研究帆布面积对帆张网作业性能的影响, 以期为促进帆张网网具与帆布的优化配置提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验设备

模型实验在东海水产研究所渔具模型实验静水池进行, 水池规格为  $90\text{ m}\times 6\text{ m}\times 3\text{ m}$ , 拖车驱动电机功率为  $7.5\text{ kW}\times 4$ , 拖速为  $0.1\sim 4.0\text{ m/s}$ , 配有微处理机调速系统, 匀速精度  $P\leq 1\%$ 。光电测速仪精度为  $\pm 0.01\%$ 。测力传感器量程为  $200\text{ N}$ , 非线性误差为量程的  $0.05\%$ 。网口高度通过深度计

测量 (Mini-Diver, 荷兰 VANESSEN CTD-Diver), 量程  $10\text{ m}$ , 分辨率为  $0.25\text{ cm}$ 。

### 1.2 模型网及属具备

原型网网具主尺度为  $162\text{ m}\times 31.1\text{ m}$ , 模型网按大尺度比为 10、小尺度比为 4 制作, 4 片式, 背腹网采用翼形结构, 网衣材料为 PA, 整顶网线面积系数为 0.11, 背腹网水平缩结系数为 0.4、侧网水平缩结系数为 0.33。上网长度  $2.28\text{ m}$ , 侧网长度为  $1.2\text{ m}$ 。模型网如图 1 所示。

纲索、帆布和网具连接方式如图 2 所示。模型实验模拟至叉纲 1。叉纲 1 长度为  $1.25\text{ m}$ , 叉纲 2 长度为  $2.75\text{ m}$ , 叉纲 3 包括内、外叉纲 2 根, 内、外叉纲长度、帆布规格、支撑杆长度等如表 1 所示。帆布数量为 4 或 6 块时, 网具两侧各 2 或 3 块; 每侧 4 根支撑杆, 单侧帆布长度和小于侧网长度 ( $1.2\text{ m}$ ) 时, 采用上下两端与上下网平齐、中间空缺的方法安装。模型实验分为 2 个部分进行: (1) 分析帆布面积对网具整体性能影响, 由于实验条件下, 保持所有实验组帆布展弦比一致较为困难, 选择展弦比相近的 1、6、7 组 (展弦比为 3.33) 和 2、4 组 (展弦比为 1.67) 构成帆布面积递增序列, 同时 1、6、7 组在帆布面积递增序列中位于最小和最大位置, 2、4 组帆

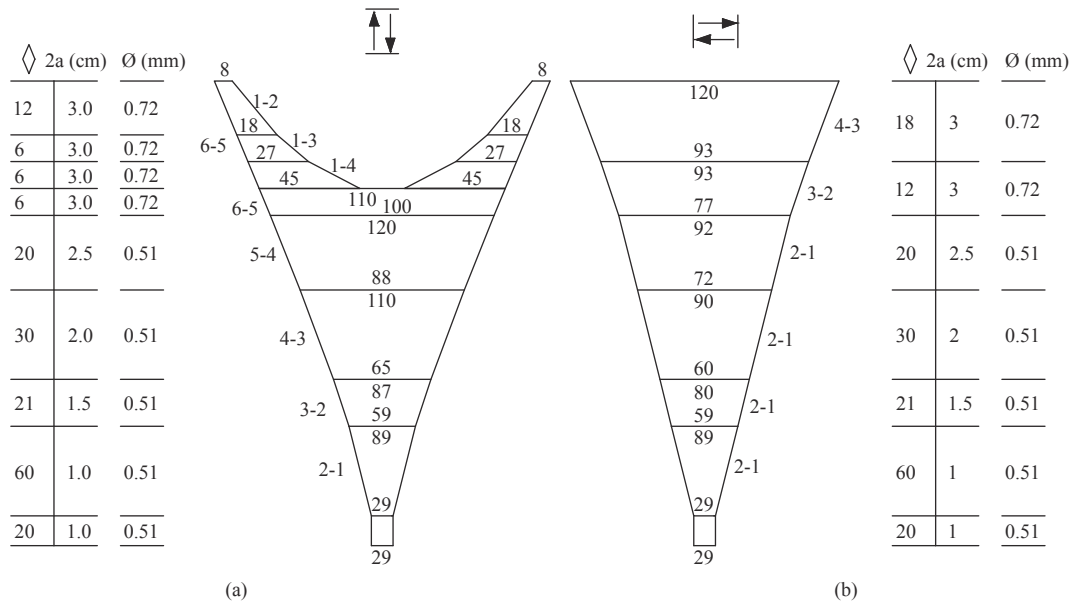


图 1 模型网图

(a) 背腹网, (b) 侧网;  $\diamond$ . 网衣纵向 (高度) 网目数; 2a. 网衣网目尺寸;  $\varnothing$ . 网衣网线直径; 6-5、5-4、4-3、2-1 等表示该节网衣的剪裁斜率;

Fig. 1 Drawing of model canvas spreader stow net

(a) back of belly of the netting, (b) side of the netting;  $\diamond$ . mesh count of netting in lengthwise (height); 2a. mesh size of netting;  $\varnothing$ . diameter of netting; 6-5, 5-4, 4-3 and 2-1 etc.. cutting ratio of the netting

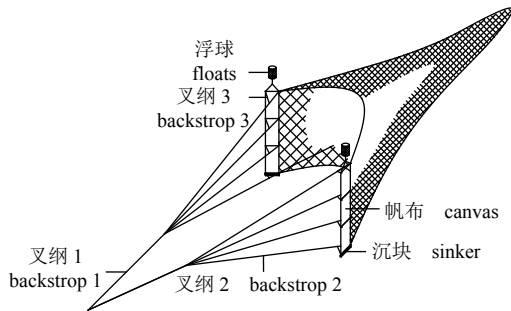


图2 帆张网模型实验示意图

Fig. 2 Schematic diagram of model canvas spreader stow net test

布面积居中, 以降低帆布展弦比对实验结构造成的影响; (2) 2和3、4和5为2个对照组实验, 帆布面积相同、单块展弦比不同, 用于分析帆布的展弦比差异对网具性能的影响, 以期明晰帆布展弦比差异是否对实验结果产生较大影响。浮沉力配备固定, 浮力为180 g, 沉力94 g, 分别安装于两侧帆布的上下端(图2)。

渔场海流流速为0.5~1.25 m/s, 每组实验设置6种流速, 模型实验的速度比为2, 模拟的实际流速、理论实验流速和实测流速如表2所示。实验时, 当流速、网型和阻力稳定后, 开始记录需要的参数数据。

表1 不同实验组帆布规格及相关属具配备

Tab. 1 Canvas specifications and related accessories for different experimental groups

分组 group	帆布面积/m <sup>2</sup> canvas area	帆布规格长×宽/cm canvas size length×width	帆布数量/块 canvas amount	支撑杆长度/cm support bar length	叉纲3内、外叉纲长/cm length of backstops 3	
					内叉纲 inner leg	外叉纲 outer leg
1	0.048	20×6	4	6	12	10
2	0.096	40×6	4	6	12	10
3	0.096	20×12	4	12	24	20
4	0.144	40×6	6	6	12	10
5	0.144	20×18	4	18	36	30
6	0.192	40×12	4	12	24	20
7	0.288	40×12	6	12	24	20

表2 模型实验流速设置

Tab. 2 current speeds of model test

模型实验流速设计 current speeds designs for model test		流速/(m/s) current speed					
实际流速 actual current		0.50	0.65	0.80	0.95	1.10	1.25
实验理论流速 theoretical current speed		0.25	0.325	0.40	0.475	0.55	0.625
实验实测流速 measured current speed		0.24	0.32	0.40	0.47	0.55	0.63

### 1.3 数据分析

参照拖网水动力性能评价指标<sup>[8]</sup>, 应用网口扩张面积与网具阻力的比值( $K$ )作为分析帆布面积对帆张网作业性能影响的参数,  $K$ 值越大表明网具性能越好。网口扩张面积为作业时网具下纲两端直线间距与上下纲最大垂直间距之间的乘积, 阻力为网具整体阻力。 $K$ 值计算式:

$$K = \frac{A}{R} = \frac{W \times H}{R} \quad (1)$$

式中,  $W$ 是网口水平扩张(m),  $H$ 是网口垂直扩张(m),  $R$ 为网具阻力(N),  $A$ 为网口扩张面积(m<sup>2</sup>)。

考虑到网具主尺度和线面积系数是影响过滤型网具阻力的主要参数<sup>[8]</sup>, 本实验以帆布面积与网具主尺度和线面积系数的乘积的比值作为帆布面积与网具的匹配参数( $P$ ):

$$P = \frac{A}{C \times L \times \frac{d}{a}} \quad (2)$$

式中,  $C$ 为网口周长(m),  $L$ 为网具长度(m),  $d/a$ 为整网(不包括网囊)的线面积系数加权平均值。

## 2 结果

### 2.1 帆布面积与网口扩张

结果发现, 随着帆布面积增加, 网口水平扩张逐步递增, 而水流速度对网口水平扩张的影响较小(图3)。网口垂直扩张受帆布面积和流速双重影响, 低流速(流速小于0.47 m/s)时, 垂直扩张随帆布面积变化呈先增加后减小趋势, 帆布面积为0.144 m<sup>2</sup>时网口垂直扩张最大, 流速大于0.47 m/s, 网口垂直扩张与帆布面积相关性不明显; 网口垂直扩张与流速呈反相关, 流速越大, 垂直扩张越小(图4)。根据实验观察, 帆布面积小于0.144 m<sup>2</sup>时, 网具舒展不佳, 背腹网、侧网均出现隆起或松弛。

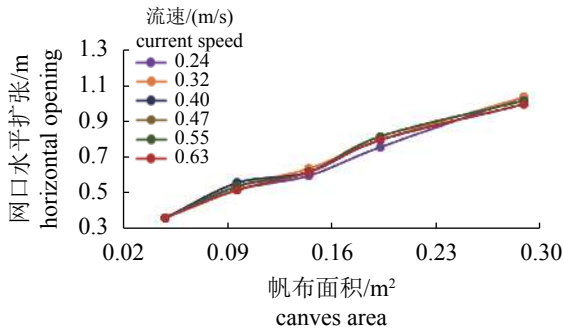


图3 帆布面积对网口水平扩张的影响

Fig. 3 Effect of canvas area on net horizontal opening

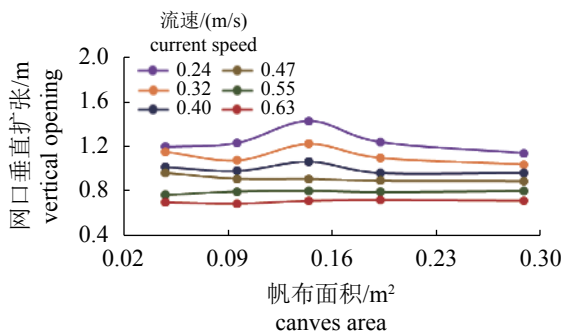


图4 帆布面积对网口垂直扩张的影响

Fig. 4 Effect of canvas area on net vertical opening

帆布面积和流速均是网口扩张面积主要影响因素, 帆布面积与网口扩张面积呈正相关; 而流速则相反。随帆布面积增加, 网口扩张面积递增明显, 增加幅度和增速与流速成反比, 流速越低, 网口扩张面积随帆布面积增加递增幅度越大、增速越快, 反之增幅越小、增速越慢(图5)。

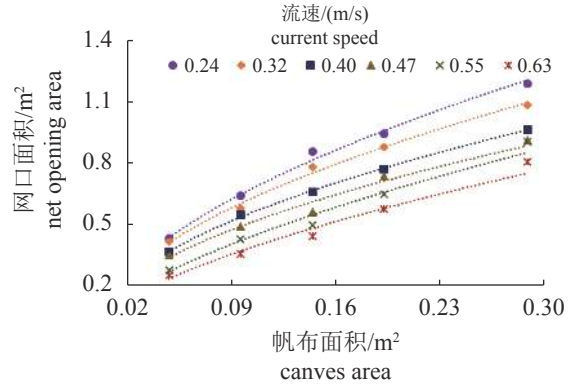


图5 帆布面积与网口扩张面积的相互关系

Fig. 5 Correlation between canvas area and net opening area

### 2.2 帆布面积与网具阻力

将帆布和网具作为一个整体, 以帆布面积、流速作为影响参数, 分析网具整体阻力( $F$ ) (包括帆布和网具) 与帆布面积( $A$ ) 和流速( $V$ ) 之间函数关系, 结果表明,  $F$  与  $A$  值和  $V$  均呈类似幂函数关系, 其指数范围分别为0.31~0.59 和 1.31~1.80, 均值分别为0.50 和 1.62(图6, 图7)。应用最小二乘法, 获得实验网具整体阻力经验公式:

$$F = 334.32 \times A^{0.5} \times V^{1.61} \quad (R^2 = 0.99) \quad (3)$$

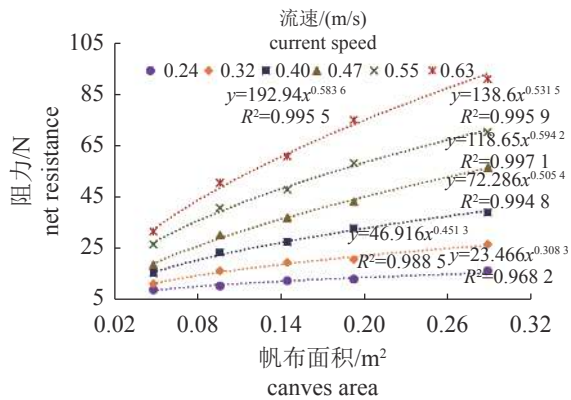


图6 帆布面积与网具阻力的相互关系

Fig. 6 Correlation between canvas area and net resistance

### 2.3 帆布面积与K值

网口扩张面积与网具阻力的比值( $K$ ) 随帆布面积变化如图8所示, 帆布面积对 $K$ 值的影响与流速有关, 速度为0.24 m/s时, 帆布面积对 $K$ 值影响较大, 随帆布面积增加,  $K$ 值从4.61递增至7.12(对应 $P$ 值为0.072), 但增速逐渐趋缓, 呈现接近峰值特征; 随流速增加, 帆布面积对于



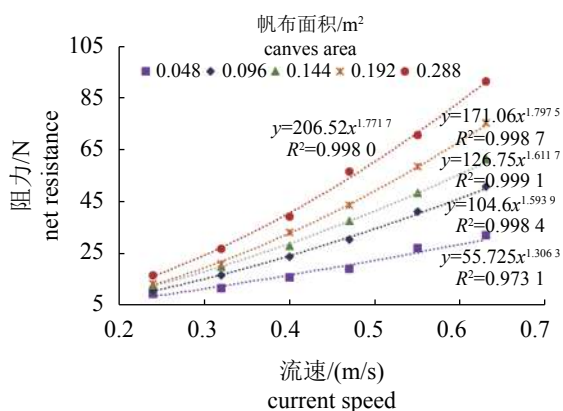


图7 流速与网具阻力的相关关系

Fig. 7 Correlation between current speed and net resistance

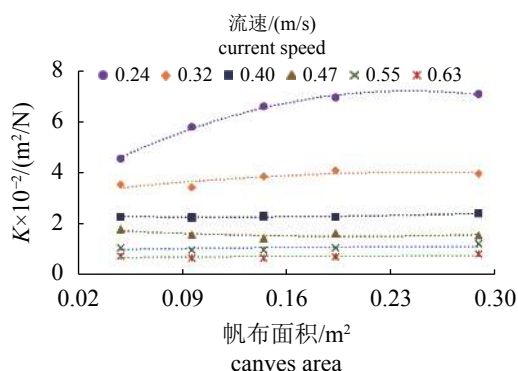


图8 帆布面积与K值的相互关系

Fig. 8 Correlation between canvas area and K

K值影响减弱, 流速大于0.4 m/s时, K值趋于平稳, 网口面积和阻力随帆布面积增加几乎等比例递增。

#### 2.4 帆布展弦比对网口面积阻力比K值的影响

相同帆布面积条件下, 2组对照实验K值变化结果显示, 颜色相同的散点对应的帆布面积相同, 红色和蓝色散点对应帆布面积分别为0.096和0.144 m<sup>2</sup>。流速为0.24 m/s时, 展弦比对K影响较大, 展弦比较小的组比较大的组K值分别增加8.49%和8.26%; 流速大于0.32 m/s时, 展弦比对网具性能影响不明显(图9)。

### 3 讨论

#### 3.1 帆布面积对网口扩张的影响分析

随着帆布面积增加, 网口水平和垂直扩张呈现不同变化特征, 其原因可能与帆张网不同部位网衣受力特征改变有关。低流速条件下,

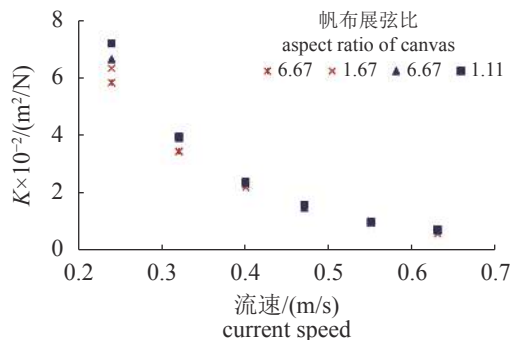


图9 帆布展弦比对K值的影响

Fig. 9 Effect of aspect ratio of canvas on K value

当帆布面积较小时, 帆布产生的水平扩张力不足, 受网衣阻力牵引导致网口收缩, 引起网具舒展不佳, 进而影响网口扩张, 网身多处形成皱褶或隆起; 随着帆布面积增大, 水平扩张力逐渐增加, 促进了网口的水平扩张, 使得背腹网受力舒展迎流面增加, 提升了网口垂直扩张; 随着帆布面积进一步增加, 上下纲水平牵引力持续增加, 促使网口垂直扩张下降。流速较大时, 网衣阻力显著增加, 使得帆布面积变化对网口垂直扩张的影响相对减弱, 帆布面积对网口垂直扩张的影响不显著。

#### 3.2 帆布面积对网具作业性能的影响分析

帆布面积增加在促进网口扩张的同时, 也使网具整体阻力增加, 在流速的影响下, 帆布面积对网具性能影响变得更为复杂。模型实验结果表明, 当流速较小时(0.24和0.32 m/s), 帆布面积增加对网具性能提升作用明显, 但K值随帆布面积增加增速趋缓, 即网口扩张面积相对网具阻力增速下降, 当帆布面积趋于0.288 m<sup>2</sup>时, K值呈现接近峰值特征, 以此推测如果进一步增加帆布面积, 网口面积相对增速将持续下降, 加上受网具主尺度、浮沉力配备等因素的限制, K值可能会出现缓慢下降或维持在峰值附近; 当流速为0.40~0.63 m/s时, 帆布面积增加对K值影响不明显, 帆布面积引起的网口扩张面积与网具阻力等速递增, 如果进一步增加帆布面积, K值变化也将与低流速条件下相似。因此, 鉴于上述特征和实验观察, 得出帆布面积0.288 m<sup>2</sup>配备条件下, 网具不仅在各种流速下均能保持较好的作业性能, 且网型饱满、网衣受力均匀, 此时对应的帆布与网具匹配系数P为0.072。除帆布面积之外, 还有本实验未提及的

浮沉力、网型结构、线面积系数等也均是影响帆张网网具性能的重要因子, 因此, 上述的帆布面积与网具较佳的匹配关系可用于类似条件下的网具设计, 当这些因子与本实验存在较大差异时, 匹配关系则需进一步研究修正。

### 3.3 帆布展弦比对实验结果的影响分析

虽然在模型实验设计时采取了减少帆布展弦比对实验结果影响的设置, 但实验结果表明帆布展弦比仍对  $K$  值产生了一定影响。帆布展弦比对  $K$  值影响可能与帆布形变有关, 相同帆布面积条件下, 展弦比较小时, 则支撑杆长度较大, 使得帆布受流形变程度减小, 增加了水平扩张力, 当流速较小时, 引起的网口面积增量大于阻力增量, 使得  $K$  值增加, 当流速较大时, 网具整体阻力增加迅速, 引起的网口面积与阻力等速递增, 使得展弦比对  $K$  值影响较小, 实验中将展弦比较大组 (即 2、4 组) 设于帆布面积实验序列 (1、2、4、6、7) 的中间, 从实验结果  $K$  值变化趋势分析 (图 7), 帆布展弦比对本实验的结果影响不大。

### 3.4 帆张网网具阻力估算

帆张网网具阻力主要影响因素包括线面积系数、帆布面积、网口虚拟面积、水流速度及浮沉力配备等。早期研究主要集中于解析水流速度与帆张网阻力之间的关系<sup>[3,9-11]</sup>, 得出水流速度与网具阻力呈幂函数关系, 由于不同研究其实验网具、帆布配备等存在差异, 得出的幂指数不尽相同, 幂指数主要介于 1.71~2.1<sup>[3,10]</sup>, 大于本实验结果; 本实验在前期研究基础上进一步探索了帆布面积与网具阻力的关系, 并得出网具阻力与流速、帆布面积之间的关系函数, 该公式可用于与本实验类似条件下的帆张网网具阻力估算, 当其他因子与本研究存在较大差异时, 阻力公式也需进一步研究修正。

### 参考文献 (References):

- [1] 孙满昌. 海洋渔业技术学 [M]. 第 2 版. 北京: 中国农业出版社, 2012: 166-167.  
Sun M C. Marine fishery technology[M]. 2nd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2012: 166-167 (in Chinese).
- [2] 彭永章, 孙满昌. 帆张网的试验与研究[J]. 水产学报, 1987, 11(2): 167-172.  
Peng Y Z, Sun M C. Study on canvas stow net with an anchor[J]. Journal of Fisheries of China, 1987, 11(2): 167-172(in Chinese).
- [3] 郑基, 王陈, 王皓, 等. 东海区中国毛虾张网网具的优化设计[J]. 水产学报, 2015, 39(12): 1894-1903.  
Zheng J, Wang C, Wang H, et al. Optimal design of Northern Maoxia shrimp (*Acete chinensis*) stow net in coastal region of the East China Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(12): 1894-1903(in Chinese).
- [4] 彭永章, 季星辉. 海蜇帆张网的设计与生产试验[J]. 海洋渔业, 1999(1): 16-19.  
Peng Y Z, Ji X H. The design and productive experiment of canvas stownet for Jellyfish[J]. Marine Fisheries, 1999(1): 16-19(in Chinese).
- [5] 程家骅, 陈雪忠, 黄洪亮, 等. 帆式张网网囊网目选择性能研究[J]. 中国水产科学, 2000, 7(4): 64-68.  
Cheng J H, Chen X Z, Huang H L, et al. Study on selectivity of diamond mesh codends of stow nets[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2000, 7(4): 64-68(in Chinese).
- [6] 张健, 蒋瑞, 方远浩, 等. 东海张网张网网囊网目选择性研究[J]. 海洋渔业, 2017, 39(3): 340-350.  
Zhang J, Jiang R, Fang Y H, et al. Study on the fish size selectivity of codends of canvas stow net in the East China Sea[J]. Marine Fisheries, 2017, 39(3): 340-350(in Chinese).
- [7] 徐国强, 张洪亮, 虞宝存, 等. 帆张网网囊网目尺寸对小黄鱼的选择性[J]. 水产学报, 2019, 43(6): 1539-1548.  
Xu G Q, Zhang H L, Yu B C, et al. Selectivity of different mesh size codends of canvas stow net for *Larimichthys polyactis*[J]. Journal of Fisheries of China, 2019, 43(6): 1539-1548(in Chinese).
- [8] 许柳雄. 渔具理论与设计学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 185-197.  
Xu L X. Fishing gear theory and design[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2004: 185-197 (in Chinese).
- [9] 黄洪亮, 陈雪忠, 程家骅, 等. 帆式张网扩张帆布与网具性能的研究[J]. 中国水产科学, 1998, 5(4): 69-75.  
Huang H L, Chen X Z, Cheng J H, et al. Study on performance of canvas-spreader and stow net[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1998, 5(4): 69-75(in Chinese).

- [10] Sun M C, Xu L X. Application of canvas horizontal spreaders to set nets[J]. *Fisheries Research*, 1991, 12(2): 157-169.
- [11] 张健, 金宇锋, 彭永章. 张网渔具网口结构优化初步研究[J]. *海洋渔业*, 2014, 36(1): 63-67.  
Zhang J, Jin Y F, Peng Y Z. On construction improvement in net mouth of traditional stow net[J]. *Marine Fisheries*, 2014, 36(1): 63-67(in Chinese).
- [12] 倪震宇, 张新峰, 金宇锋, 等. 基于数值模拟的单锚张网张网水动力性能研究[J]. *大连海洋大学学报*, 2018, 33(3): 402-407.  
Ni Z Y, Zhang X F, Jin Y F, *et al.* Hydrodynamic performance analysis of canvas stow net based on numerical simulation[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2018, 33(3): 402-407(in Chinese).

## Relationship between canvas area and performance of the canvas spreader stow nets

LI Lingzhi<sup>1,2</sup>, YANG Jialiang<sup>1,2</sup>, RAO Xin<sup>1,2</sup>, CHEN Shuai<sup>1,2</sup>, HUANG Hongliang<sup>1,2\*</sup>

(1. Key Laboratory of East China Sea and Oceanic Fishery Resources Exploitation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China;

2. Engineering Technology Research Center of Marine Fishing, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

**Abstract:** The increase of canvas area not only promotes the net mouth opening, but also increases the overall resistance of the net. In order to understand the relationship between canvas area and net performance, 7 groups for model test were designed, the ratio of canvas area/net resistance ( $K$ ) was used as an indicator for net performance. The 7 groups were divided into two parts according to research objective, (1) 5 groups within 7 groups were chosen to study the effect of the canvas areas on net performance, which the canvas areas increased gradually, but the canvas width/length ratio was similar; (2) 4 groups within 7 groups were chosen to estimate the effect of the canvas width/length ratio on the research result of part (1). The results show that: when the current speed was 0.24 m/s, the  $K$  rose with the canvas area increasing, but the rise rate slowed down gradually, as the canvas area was close to 0.288 m<sup>2</sup>, the  $K$  was close to the peak; when the current speed was more than 0.4 m/s, the  $K$  was a constant, and the correlation between  $k$  and canvas area was not obvious. So when the canvas area was close to 0.288 m<sup>2</sup>, the matching coefficient ( $P$ ) of canvas area and net size was close to 0.072, the stow net can keep good performance under different current conditions. The effect of aspect ratio of canvas on  $K$  trend was not obvious. The power function relation was found between net resistance with canvas area and current speed, and the empirical formula was expressed as  $F=334.32 \times A^{0.5} \times V^{1.61}$ . As a common sense, the matching coefficient ( $P$ ) and net resistance were affected by multiple factors, not only by canvas area and current speed. So the results were suitable for using in similar condition. If the conditions were different obviously, the coefficient and formula should be modified. The above findings can be used for the performance improvement of canvas spreader stow nets.

**Key words:** canvas spreader stow net; canvas area; net resistance; net performance

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

**Funding project:** National key R&D Program of China(2017YFE0111100)