

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2017.16182

基于正交试验方法的四片式虾拖网结构参数优化

周爱忠, 张勋, 张禹, 王鲁民

中国水产科学研究院 东海水产研究所, 农业部海洋与河口渔业重点开放实验室, 上海 200090

摘要: 针对规格为 40.3 m×(20.8~16.2) m 的我国过洋性虾拖渔业四片式虾拖网, 基于 $L_9(3^4)$ 正交表, 设计了网身长度(L_b)、下网袖长度(L_w)、侧网宽度(W_s) 3 种因素各 3 个水平的正交试验, 并利用方差分析检测 3 种试验因素对网具阻力、能耗系数、 L/R (袖端间距与阻力之比)系数影响的显著性, 旨在对此种网具的网身长度与网口周长之比(L_b/C)、下网袖长度与网口周长之比(L_w/C)、侧网宽度与上网片宽度之比(W_s/W_U)这 3 种结构参数进行优化。结果表明, 对网具阻力的影响因素由主到次依次是下网袖长度、网身长度、侧网宽度。对能耗系数的影响因素在水平扩张 L/S (袖端间距/下网长度)=0.45 时由主到次依次是侧网宽度、网身长度、下网袖长度; 但在水平扩张 L (袖端间距)=10 m 时, 下网袖长度为主影响因素。对 L/R 系数的主影响因素为下网袖长度。此类型网具的 L_b/C 应比小网目底层拖网略小, 但在较大的范围内(0.26~0.38)变化亦不会对网具水动力性能有显著影响。 $L_w/C=0.31$ 为试验的最佳水平, 下网袖长度为 3 种因素中对网具性能影响最显著的因素。 $W_s/W_U=0.19$ 为试验的最佳水平, 侧网宽度应优先满足虾拖网作业对网口高度的要求, 在此基础上, 尽量缩小 W_s/W_U 值, 不必拘泥于 W_s/W_U 结构参数值。

关键词: 正交试验方法; 四片式虾拖网; 结构参数; 优化

中图分类号: S972

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2017)03-0640-08

世界各国对虾类资源的利用均十分重视, 底层拖网捕捞是获取海洋野生虾类资源的主要方式^[1]。双撑杆(又称双臂架)虾拖网和尾拖、舷拖、桁拖、双拖一样, 是底拖网作业的基本形式^[2]。这种作业方式在墨西哥湾、南美沿海、西非、澳大利亚等海域十分流行, 主要用于捕捞栖息于平坦海底的虾类^[3-4], 是机轮拖虾的主要作业形式。我国过洋性专业虾拖渔船均采用双撑杆作业方式在东、西非海域生产, 我国的海南省也存在此种作业方式, 在南海海域捕捞虾类。

和我国的底层拖网和桁杆拖虾网作业方式不同, 双撑杆虾拖作业所使用的网具结构、操作技术与以上两者有较大差别。目前四片式结构虾拖网是我国过洋性双撑杆虾拖渔业最普遍使用的网具类型, 即网具主要由上网片、下网片和两片侧网片组成。国外针对虾拖网具的网身的剪裁斜率

对虾拖网作业效果的影响进行过研究^[5]。在国内, 通过系列模型试验, 对底层拖网 L/C (网具总长/网口周长)、 S_1/S_2 (上纲长度/下纲长度)、 d/a (网口部位网线直径/网目单脚长度)、 L_b/C (网身长度/网口周长)等结构参数进行了较系统的研究^[6], 针对单船中层拖网、南极磷虾拖网的作业参数进行了显著性分析^[7-8], 也对 2 种规格的四片式虾拖网进行了水动力测试和比较^[9], 但尚未见针对四片式虾拖网结构参数研究的报告, 使我国自主设计此种网具时限于经验, 缺乏结构参数数据改变对网具性能影响的数据分析。本研究选取一顶四片式结构的虾拖网, 针对其网身长度、下网袖长度、侧网宽度, 在系列试验的基础上, 设计了这 3 种因素下各 3 种水平的正交试验, 并利用 SPSS 软件分析 3 种试验因素在试验水平内的变化对网具性能影响的显著性, 研究此种网具的网身长度/网口周

收稿日期: 2016-06-14; 修订日期: 2016-07-22.

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2013BAD13B04).

作者简介: 周爱忠(1969-), 男, 助理研究员, 研究方向为渔具、渔法和模型研究. E-mail: zhouaz@eastfishery.ac.cn

通信作者: 王鲁民, 研究员. E-mail: wanglm@eastfishery.ac.cn

长(L_b/C)、下网袖长度/网口周长(L_w/C)、侧网宽度/上网片宽度(W_s/W_U)的最优结构参数,以期达到理想的网具水动力性能,为四片式双撑杆虾拖网具的设计和优化提供技术参考。

1 材料与方 法

1.1 原型网与模型网

1.1.1 原型网 试验选用中国水产有限公司莫桑比克代表处规格为 40.3 m×20.8~16.2 m 的虾拖网作为原型网,网具为四片式结构。实物网口网目尺寸为 65 mm,网口网目数为 620 目,上、下纲长度分别为 16.2 m 和 18.6 m。图 1 为原型网图。

1.1.2 因素水平 选取网身长度、下网袖长度、侧网高度 3 个因素,按 $L_9(3^4)$ 正交表设计安排试验。其中网身长度改变时,保持网身上、下网片梯形的上、下边的宽度。原型网网身采用一段式剪裁,试验分别选取上、下片的剪裁形式为 5-3、2-1、7-3,侧网保持上、下底边宽度,调整斜边剪裁斜率适应长度变化。对应的网身长度分别为 10.9 m、13.0 m、14.9 m,最长网身比最短网身长

37%,网身长度与网口周长比(L_b/C)为 0.26~0.38。网袖长度改变时保持网袖上边和下边的宽度,并保持上、下纲装纲边的斜率和不同斜率组数比例,根据上、下边的目数与高度目数计算另一边的剪裁斜率,侧网宽度保持不变,只改变长度。本次试验的下网袖的长度分别为 7.8 m、10.0 m、12.0 m,下网袖长度与网口周长的比(L_w/C)为 0.19~0.31。保持网口周长不变,同时要改变侧网宽度与上网片宽度比,需要改变上网片的宽度,所涉及改变的因素较多,如网袖、纲索,因此,本次试验仅改变侧网的宽度,保持上、下网片的宽度不变,试验采取在原型侧网宽度的基础上分别增加与减少 20%,即侧网最大宽度分别为 48 目、60 目、72 目,通过斜边的剪裁斜率的调整使侧网底边的宽度不变,试验的侧网宽度与上网片宽度之比 W_s/W_U 为 0.19~0.29。正交试验因素水平见表 1。

1.1.3 模型网 模型网根据 SC/T 4011—1995《拖网模型水池试验方法》标准中渔具模型试验准则 I^[10]。按照表 1 所列的参数设计 9 顶模型网。模型网线材料为聚酰胺(PA),网线直径为 0.50 mm。模型网

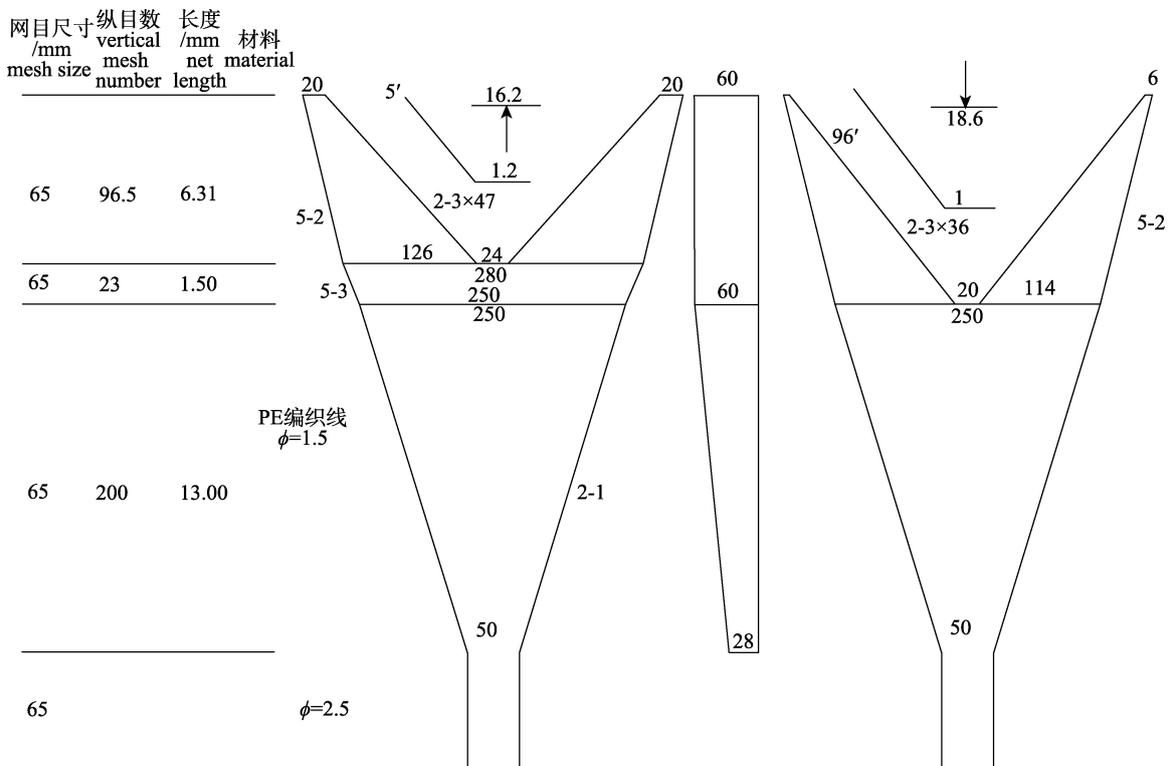


图 1 原型网图

Fig. 1 The actual trawl sketch

表 1 正交试验因素水平表
Tab. 1 Orthogonal factor level table

试验 编号 test no.	试验因素 experimental factor		
	网身长度/m body length	下网袖长度/m lower wing length	侧网宽度目数 T-meshes of side pannel
1	10.9	7.8	48
2	10.9	10.0	60
3	10.9	12.0	72
4	13.0	7.8	60
5	13.0	10.0	72
6	13.0	12.0	48
7	14.9	7.8	72
8	14.9	10.0	48
9	14.9	12.0	60

所使用的网线材料与原型网的比重有差异,会引起一定的试验误差,但拖网在高速拖曳时由此而引起的误差相当小^[11],本研究结果和分析均忽略了此种误差。依据试验水池规格条件,取大尺度比 λ 为 5,小尺度比 λ' 为 9。按照 SC/T 4014—1997《拖网模型制作方法》制作成模型网具^[12]。

1.2 试验设备

拖网模型试验在中国水产科学研究院东海水产研究所渔具模型试验静水池进行,水池规格为:90 m×6 m×3 m,水池北端设置消波器。拖车驱动电机功率为 7.5 kW×4,拖速范围 0.1~4.0 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 N。网高仪为中海达测绘仪器公司 HD-27T 型测深仪,距离分辨率 30 mm。

1.3 试验方法

虾拖网一般采用矩形平面网板,用 1~3 m 的短空纲与网具连接,本次试验的空纲长度为 1.8 m。为模拟网板对网口垂直扩张的影响,模型网在网板的位置使用一根直径 2 mm 的木杆模拟网板对网袖垂直扩张高度的限制。木杆的长度等于网板的翼展除以大尺度比,为 220 mm。测力点为木杆两端等长引出线。

拖网模型试验网具的水平扩张一般以 L/S (袖端间距比下纲长度)设定,由于本次试验网具的网袖长度不同,如设定 L/S ,会造成试验网具的袖端间距不同,为避免此不同对试验结果可能的影响,

本次试验分别以 $L/S=0.45$ 和相同的袖端间距($L=10$ m)(实物网具作业时推测水平扩张)两种水平扩张进行试验和分析。

本次试验没有设计重复试验,每组试验对应实物的拖速从 1.03 m/s 增至 2.31 m/s,共分 5 档,每档间隔 0.257 m/s(约 0.5 kn),试验的浮力为 196 N,沉力为 554 N。读取网具的阻力和网口高度,并对数据进行幂函数回归处理,假如阻力回归相关系数 $R < 0.99$ 或网口高度回归相关系数 $R < 0.98$,则重新测试此组数据。

1.4 数据处理

实物网受力(F_1)与模型网受力(F_2)的力学比例关系为:

$$F_1 = F_2 \times \lambda^2 \times \lambda'$$

式中, λ 为大尺度比, λ' 为小尺度比。

实物网网口高度由模型网网口高度与大尺度相乘得到。

实物网的能耗系数计算公式为:

$$C_e = F_{sj} \times 3.472 / H_{sj} L_{xs}$$

式中, C_e 为实物在某个设定拖速下的能耗系数,单位 $\text{kW} \cdot \text{h} / (10^4 \cdot \text{m}^3)$; F_{sj} 为实物在该拖速下的计算阻力,单位 kN; H_{sj} 为实物在该拖速下的计算网口高度, m; L_{xs} 为实物的袖端水平扩张, m。

应用 SPSS19.0 数据分析软件对考察指标进行方差分析,分析中只考察主效应,不涉及交互效应的分析。

2 结果与分析

2.1 各试验组的阻力

图 2 为试验组保持水平扩张 $L=10$ m 时,各试验组在不同拖速下的阻力和趋势线。由图 2 可见,试验组 1 在各试验拖速下的阻力趋势线明显低于其他试验组,而试验组 9 的阻力最高。图 3 为水平扩张 $L/S=0.45$ 时各试验组在不同拖速下的阻力和趋势线。由图 3 可见,最大阻力试验组和最小阻力试验组与水平扩张为 $L=10$ m 时相同,分别为试验组 9 和试验组 1。试验水平扩张的不同对试验组阻力的分布影响不明显。

2.2 各试验组的网口高度

虾拖网的网口高度达到一定值后,再提高网

口高度可能对捕捞效果的提升不明显, 因此所配备的浮力很小, 网口高度也较低。图 4 和图 5 分别是水平扩张 $L=10\text{ m}$ 和 $L/S=0.45$ 时各试验组的网口高度变化趋势图。由图 4 可见, 水平扩张 $L=10\text{ m}$ 时试验组 3 的网口高度最高, 而试验组 7 号最低; 水平扩张 $L/S=0.45$ 时试验组 8 的网口高度最高, 而试验组 9 号最低, 两者的分布明显不同。本次试验各试验组在作业拖速下 ($V=1.54\sim 1.80\text{ m/s}$) 网口高度均大于 1.8 m 。

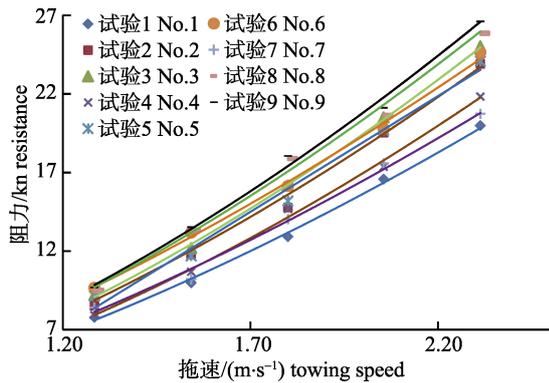


图 2 水平扩张 $L=10\text{ m}$ 时各试验组的阻力变化
Fig. 2 The change of resistance with towing speed under horizontal expansion $L=10\text{ m}$

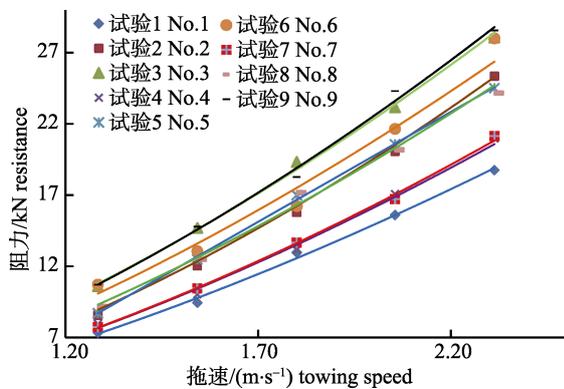


图 3 水平扩张 $L/S=0.45$ 时各试验组的阻力变化
Fig. 3 The change of resistance with towing speed under horizontal expansion $L/S=0.45$

2.3 考察因素的值和方差分析

虾拖网是一种过滤性渔具, 考察其水动力性能目前主要有能耗系数和水动力系数^[13-16], 如去除系数, 两者的计算式为倒数关系, 本研究以能耗系数为指标考察网具的水动力性能。考虑到虾拖网的捕捞对象虾类的生活习性, 在网口高度达到一定的值后, 网口的水平扩张对捕捞效率的影

响更大, 从网口高度来看, 9 顶试验网的 18 组试验的网口高度均达到虾拖网的要求, 因此, 选取网具阻力、能耗系数作为考察因素的同时, 选取水平扩张/阻力(L/R)作为考察因素。选取作业常用拖速 1.54 m/s 和 1.80 m/s 时各考察因素的计算值作分析。表 2、表 3 分别是水平扩张 $L=10\text{ m}$ 和 $L/S=0.45$ 时各试验组考察因素的值。

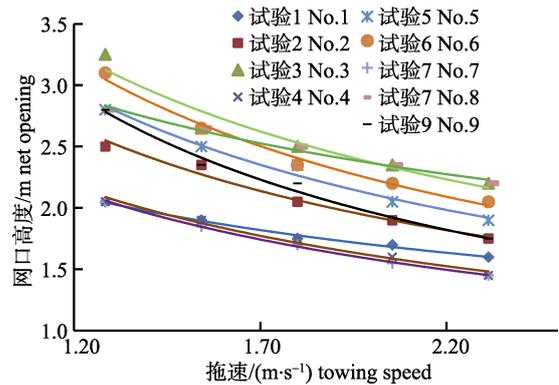


图 4 水平扩张 $L=10\text{ m}$ 时各试验组的网口高度变化
Fig. 4 The change of net opening with towing speed under horizontal expansion $L=10\text{ m}$

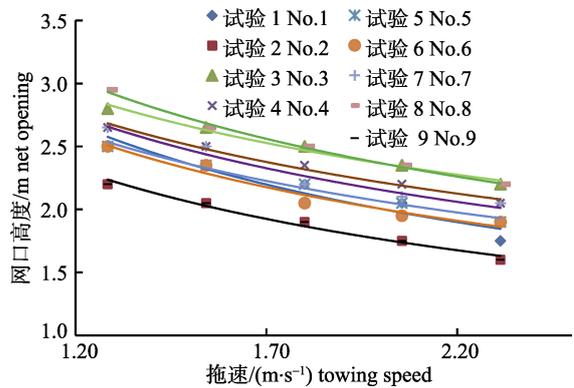


图 5 水平扩张 $L/S=0.45$ 时各试验组的网口高度变化
Fig. 5 The change of net opening with towing speed under horizontal expansion $L/S=0.45$

2.3.1 对阻力的方差分析 当水平扩张为保持袖端间距 $L=10\text{ m}$, 拖速为 1.54 m/s 时, 针对阻力的方差分析显示, 在试验水平下, 网袖长度(B)对阻力存在显著影响($P<0.05$), 而网身长度(A)、侧网宽度(C)则不显著($P>0.05$)。三者由主到次的顺序为网袖长度(B)、网身长度(A)、侧网宽度(C), 各因素水平下阻力的大小顺序分别是: $A_3>A_2>A_1$, $B_3>B_2>B_1$, $C_1>C_2>C_3$ 。拖速为 1.80 m/s 时, 3 种因素主次顺序与拖速为 1.54 m/s 时相同, 网袖长

表 2 水平扩张 $L=10\text{ m}$ 时各试验组考察因素的值
 Tab. 2 The value of investigate factors under horizontal expansion $L=10\text{ m}$

试验号 test no.	阻力/kN resistance		能耗系数 energy consumption coefficient		袖端间距/阻力 L/R	
	$V=1.54$	$V=1.80$	$V=1.54$	$V=1.80$	$V=1.54$	$V=1.80$
1	10.25	13.17	1.295	1.883	0.976	0.759
2	11.67	15.29	1.155	1.777	0.857	0.654
3	12.45	16.22	1.013	1.549	0.803	0.617
4	10.86	14.16	1.319	2.006	0.921	0.706
5	11.98	15.55	1.076	1.657	0.835	0.643
6	12.91	16.40	1.110	1.673	0.775	0.610
7	10.88	13.92	1.470	2.076	0.919	0.718
8	13.19	17.06	1.193	1.741	0.758	0.586
9	13.33	17.36	1.215	1.920	0.750	0.576

表 3 水平扩张 $L/S=0.45$ 时各试验组考察因素的值
 Tab. 3 The value of investigate factors under horizontal expansion $L/S=0.45$

试验号 test no.	阻力/kN resistance		能耗系数 energy consumption coefficient		袖端间距/阻力 L/R	
	$V=1.54$	$V=1.80$	$V=1.54$	$V=1.80$	$V=1.54$	$V=1.80$
1	9.79	12.57	1.173	1.755	0.853	0.664
2	11.98	15.88	1.279	1.970	0.868	0.655
3	14.59	18.79	1.062	1.541	0.857	0.665
4	10.45	13.53	1.195	1.752	0.799	0.617
5	12.29	16.18	1.166	1.761	0.846	0.643
6	13.62	17.51	1.119	1.652	0.918	0.714
7	10.50	13.63	1.205	1.789	0.798	0.613
8	12.62	16.29	1.063	1.572	0.824	0.638
9	14.51	18.86	1.315	1.985	0.861	0.663

度(B)为主要影响因素($P<0.05$), 网身长度(A)和侧网宽度(C)影响不显著($P>0.05$), 各因素水平下阻力的大小顺序分别是: $A_3>A_2>A_1$, $B_3>B_2>B_1$, $C_2>C_1>C_3$ 。

当水平扩张为保持 $L/S=0.45$, 拖速为 1.54 m/s 时, 3种试验因素对阻力的影响为B因素影响显著($P=0.017$), A、C因素不显著($P>0.05$), 三者由主到次顺序为 B、A、C, 各因素水平下阻力的大小顺序分别是: $A_3>A_2=A_1$, $B_3>B_2>B_1$, $C_3>C_2>C_1$ 。拖速为 1.80 m/s 时, 3种因素的显著性与拖速为 1.54 m/s 时相同, 为 B 因素显著($P=0.011$), A、C 因素不显著($P>0.05$), 三者的主次顺序同为 $B>A>C$, 各因素水平下阻力的大小顺序分别是: $A_3>A_1>A_2$, $B_3>B_2>B_1$, $C_3>C_2>C_1$ 。

2.3.2 对能耗系数的方差分析 当水平扩张为保持袖端间距 $L=10\text{ m}$, 拖速为 1.54 m/s 时, 3种试验

因素对能耗系数的影响均为不显著($P>0.05$), 三者由主到次顺序为 B、A、C, 各因素水平下能耗系数的大小顺序分别是: $A_3>A_2>A_1$, $B_1>B_2>B_3$, $C_2>C_1>C_3$ 。拖速为 1.80 m/s 时, B 因素显著($P<0.05$), A、C 因素不显著($P>0.05$), 三者由主到次顺序为 B、C、A, 各因素水平下能耗系数的大小顺序分别是: $A_3>A_2>A_1$, $B_1>B_2>B_3$, $C_2>C_3>C_1$ 。

当水平扩张为保持 $L/S=0.45$, 拖速为 1.54 m/s 时, 3种试验因素对能耗系数的影响均为不显著($P>0.05$), 三者由主到次顺序为 C、A、B, 各因素水平下能耗系数的大小顺序分别是: $A_3>A_1>A_2$, $B_1>B_2>B_3$, $C_2>C_3>C_1$ 。拖速为 1.80 m/s 时, 3种因素的显著性与拖速为 1.54 m/s 时相同, 均为不显著($P>0.05$), 三者由主到次顺序为 C、A、B。各因素水平下能耗系数的大小顺序分别是: $A_3>$

$A1>A2, B2>B1>B3, C2>C3>C1$ 。

2.3.3 对 L/R 系数的方差分析 当水平扩张为保持袖端间距 $L=10$ m, 拖速为 1.54 m/s 时, 由于 L 保持不变, 因此 L/R 系数实际为 10 倍的阻力倒数, 针对 L/R 系数的方差分析与相同试验条件对阻力的分析相同, 3 种试验因素对 L/R 系数的影响为 B 因素影响显著 ($P<0.05$), A 和 C 因素不显著 ($P>0.05$), 三者由主到次顺序为 B、A、C, 各因素水平下 L/R 系数的大小顺序分别是: $A1>A2>A3, B1>B2>B3, C3>C2>C1$ 。拖速为 1.80 m/s 时, 3 种因素的显著性与拖速为 1.54 m/s 时相同, 为 B 因素显著 ($P=0.040$), A、C 因素不显著 (P 值分别为 0.234, 0.796), 各因素水平下 L/R 系数的大小顺序分别是: $A1>A2>A3, B1>B2>B3, C3>C1>C2$ 。

当水平扩张为保持 $L/S=0.45$, 拖速为 1.54 m/s 时, 针对 L/R 系数的方差分析显示, 3 种试验因素对 L/R 系数的影响均为不显著 ($P>0.05$), 三者由主到次顺序为 B、A、C, 各因素水平下 L/R 系数的大小顺序分别是: $A1>A2>A3, B3>B2>B1, C1>C2>C3$ 。拖速为 1.80 m/s 时, 三种因素的显著性与拖速为 1.54 m/s 时相同, 均为不显著 ($P>0.05$), 三者由主到次顺序为 B、C、A。各因素水平下 L/R 系数的大小顺序分别是: $A1>A2>A3, B3>B2>B1, C1>C2>C3$ 。

3 讨论

3.1 四片式虾拖网的网身长度与网口周长之比 (L_b/C)

从阻力、能耗系数、 L/R 系数等的方差分析来看, 无论是水平扩张 $L=10$ m 或 $L/S=0.45$, 变化网身长度的 3 种试验水平对 3 种考察因素影响均不显著, 其中最短网身的各项考察指标最佳, 试验表明此种网具的网身长度与网口周长之比 ($L_b/C=0.26$) 为佳。网身长度与网口周长之比决定了网身的网片与水流方向的冲角^[6], 缩短网身可使网身网片的冲角变大, 有利于节约材料、减小阻力, 降低能耗系数, 但可能增加进入网身的虾类穿过网目的机会^[5]。对底层小网目拖网的网身长度与网口周长之比的研究认为, 网身的长周比在 0.36~0.40 最佳^[6]。对此种作业方式相同结构形式

的 6 顶不同规格的四片式虾拖网的计算, L_b/C 在 0.29~0.35。综上所述, 本研究认为, 此种网具的最佳 L_b/C 应比底层拖网略小, 但在较大的范围内 (0.26~0.38) 变化亦不会对网具水动力性能有显著影响, 设计时可有较大的余地, 可参考网身的网目大小和捕捞对象个体的大小以及操作的便利性等因素做适当调整。

3.2 四片式虾拖网的下网袖长度与网口周长之比 (L_w/C)

网袖起到引导与拦截捕捞对象进入网身的功能, 网袖长度对拖网水动力性能影响明显^[17-18]。以往文献中较多以袖长比 (网袖长度与网具总长之比) 来讨论网袖长度比例关系, 但前文已分析指出, 网具的网身长度可在较大范围内变动, 用袖长比表述网袖的比例关系可能产生偏差。相对而言, 网口周长更能表征网具的规格^[19], 本研究以下网袖长度与网口周长之比 (L_w/C) 来讨论网袖的比例关系。对阻力的方差分析得出, 在试验设定水平下, 网袖长度对阻力的影响显著, 并且在水平扩张 $L=10$ m 时, 对 L/R 系数和能耗系数影响显著, 但在水平扩张 $L/S=0.45$ 时, 对 L/R 系数和能耗系数影响不显著。试验结果表明网袖长度为 3 种试验因素中唯一对网具性能影响显著的因素。长网袖的能耗系数较低, 且水平扩张 $L=10$ m 时 L/R 系数较高, 表明 $L_w/C=0.31$ 为最佳试验水平。对上文所述的同样 6 顶虾拖网计算 L_w/C , 其值为 0.13~0.35。在东非的莫桑比克和马达加斯加, 为控制捕捞强度, 均对每艘捕虾船的下纲总长度作出限制, 网具的 L_w/C 值较小; 而无此种限制、在西非海域作业的虾拖网的 L_w/C 值可达 0.35, 表明下纲长度 (网袖长度) 的限制对网具性能有显著的影响。

3.3 侧网宽度与上网片宽度之比 (W_s/W_U)

试验结果的方差分析表明, 3 种试验水平的侧网宽度对网具的阻力、能耗系数、 L/R 系数的影响均为不显著, 本次试验的虾拖网在作业拖速下均达到作业所需的网口高度^[9], 无需在原型网的基础上增加侧网宽度以增加网口高度。从试验结果来看, 不增加浮力, 仅增加侧网高度对增加网口高度效果不明显, 从而不能降低能耗系数, 而使阻力有所增加。从能耗系数和水平扩张 $L/S=$

0.45 时 L/R 系数来选择, $W_S/W_U=0.19$ 为优水平。从阻力来看, 如水平扩张保持为 $L/S=0.45$, 则 $W_S/W_U=0.19$ 为优水平(阻力小), 符合常规; 然而在固定袖端间距 $L=10$ m 时, 则 $W_S/W_U=0.24$ 为优水平, 这可能与较短网袖时要达到 $L=10$ m 的水平扩张, 网具的 L/S 可达 0.54, 大大超过其余试验组的 L/S 有关。相同网口高度的虾拖网, 不同网口周长的 W_S/W_U 可能差距比较大, 本研究认为, 侧网的宽度在满足作业要求的基础上, 应尽量缩小 W_S/W_U 值, 设计时不必拘泥于 W_S/W_U 值。

3.4 存在的问题

本试验以 2 种常用作业拖速对比, 方差分析得出相同的因素主次顺序, 各水平的大小顺序则略有不同, 说明试验虽存在一定的误差, 但总体结果是可信的。试验仅以实物网具作业时推测水平扩张 $L=10$ m 来分析比较固定袖端间距和固定 L/S 对试验结果的影响, 可能存在一定的片面性。

参考文献:

- [1] Huang X C. Practical Trawl Fishing Gear and Fishing Method[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1984: 304-307. [黄锡昌. 实用拖网渔具渔法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1984: 304-307.]
- [2] Ji X H. Discussing double rig shrimp trawl test and its operation principle[J]. Marine Fisheries, 1988, 10(2): 55-60. [季星辉. 长臂拖网试验及其作业原理的探讨[J]. 海洋渔业, 1988, 10(2): 55-60.]
- [3] Ji X H. Modified of double rig trawler and fishing operations[J]. Fishery Machinery Equipment, 1988, 15(2): 29-32. [季星辉. 长臂网作业的渔船改装和渔捞操作[J]. 渔业机械仪器, 1988, 15(2): 29-32.]
- [4] Shao H D. Design characteristics of new type double rig trawler[J]. Jiangsu Ship, 2005, 22(5): 14-16. [邵汉东. 新型撑杆式拖网渔船的设计特点[J]. 江苏船舶, 2005, 22(5): 14-16.]
- [5] Broadhurst M K, Sterling D J, Millar R B. Short vs long penaeid trawls: Effects of side taper on engineering and catching performances[J]. Fish Res, 2012, 134-136: 73-81.
- [6] Wang M Y, Xiang Y J, Xu B S, et al. Fundamental research on trawl design-[C]//China's Aquatic Fishing Academic Research Papers. Suzhou: Suzhou University Press, 1997: 176-188. [王明彦, 项亿军, 徐宝生, 等. 拖网渔具设计的基础研究— I [C]//中国水产捕捞学术研究会论文集. 苏州: 苏州大学出版社, 1997: 176-188.]
- [7] Feng C L, Huang H L, Zhou A Z, et al. Performance optimization of a trawl for Antarctic krill[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2012, 19(4): 662-670. [冯春雷, 黄洪亮, 周爱忠, 等. 南极磷虾拖网的性能优化分析[J]. 中国水产科学, 2012, 19(4): 662-670.]
- [8] Feng C L, Huang H L, Chen X Z. Significance analysis on the main parameters of single boat mid-water trawl[J]. Marine Fisheries, 2009, 29(1): 8-12. [冯春雷, 黄洪亮, 陈雪忠. 主要作业参数对单船中层拖网性能的显著性分析[J]. 海洋渔业, 2009, 29(1): 8-12.]
- [9] Zhou A Z, Zhang Y, Xu G D, et al. Single ship towing four net-type double rig shrimp trawl model testing[J]. Marine Fisheries, 2014, 36(4): 364-371. [周爱忠, 张禹, 徐国栋, 等. 单船拖曳 4 顶网式双撑杆虾拖网模型试验[J]. 海洋渔业, 2014, 36(4): 364-371.]
- [10] SC/T4011—1995 Trawl model test method[S]. Beijing: Standards Press of China, 1998: 92-101. [SC/T 4011—1995 拖网模型水池试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1998: 92-101.]
- [11] Kumazawa T S, Hu F X, Fuma S, et al. Model test of trawl gear with a net-mouth opening device based on modified Tauti's law[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 2009, 75(5): 793-801. [熊沢泰生, 胡夫祥, 不破茂. 修正田内則に基づく拡網装置を取り付けたトロール漁具の模型試験[J]. 日本水産學會誌, 2009, 75(5): 793-801.]
- [12] SC/T 4014—1997 Preparation of Trawl Model[S]. Beijing: Standards Press of China, 1998: 115-118. [SC/T4014—1997 拖网模型制作方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1998: 115-118.]
- [13] Wu Y H, Yu Y F, Lin H, et al. A discussion on the principles of trawl model testing in towing tank[C]//China's Aquatic Fishing Academic Research Papers. Suzhou: Suzhou University Press, 1997: 27-36. [伍贻惠, 郁岳峰, 林淮, 等. 拖网模型试验若干问题的研究[C]//中国水产捕捞学术研讨会论文集. 苏州: 苏州大学出版社, 1997: 27-36.]
- [14] Lee J H. Fundamental studies on the net-shape of the drag net[J]. Bulletin of the Faculty of Fisheries, Hokkaido University, 1983, 34(4): 323-333. [李珠熙. 底曳網の形状に関する基礎的研究[J]. 北海道大學水産學部研究彙, 1983, 34(4): 323-333.]
- [15] Yamasaki A, Fukuda S, Tojima T. Height of trawl net in towing of the Danish seine[J]. Kyoto Prefectural Ocean Center Study, 1994(17): 10-17. [山崎淳, 福田智, 戸嶋孝. 底曳網曳網中の網の高さ[J]. 京都府立海洋センター研究報告, 1994(17): 10-17.]
- [16] Zhang X, Yu Y F, Xu B S, et al. Experimental research of

- single-bottom trawl in west Africa[J]. *Marine Fisheries*, 2007, 29(2): 159–165. [张勋, 郁岳峰, 徐宝生, 等. 西非海域单船底拖网的试验研究-I[J]. *海洋渔业*, 2007, 29(2): 159–165.]
- [17] Wan R, Hou E H. Effect of the construction at wing tips of trawl on its performance[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 1992(3): 60–63. [万荣, 侯恩淮. 拖网的网袖结构对其性能的影响[J]. *海洋湖沼通报*, 1992(3): 60–63.]
- [18] Wang Y J, Wan R, Zhang X, et al. Effects of wing size on the performance of a large mesh bottom trawl[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2015, 22(2): 332–339. [王永进, 万荣, 张勋, 等. 网袖长度对底层大网目拖网性能的影响[J]. *中国水产科学*, 2015, 22(2): 332–339.]
- [19] Xu L X. *Fishing Gear Theory and Design*[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2004. [许柳雄. *渔具理论与设计*[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.]

Optimization of the structural parameters for four-panel shrimp trawl nets based on orthogonal experimental design

ZHOU Aizhong, ZHANG Xun, ZHANG Yu, WANG Lumin

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

Abstract: This study concerns the Chinese distant-water shrimp-trawl fishery effort which uses four-panel trawl nets with the specification $40.3 \text{ m} \times (20.8\text{--}16.2) \text{ m}$. Based on the $L_9(3^4)$ orthogonal array, the orthogonal experiment of three factors [body length (L_b), lower wing length (L_w) and meshes of side pannel] in each level was designed to optimization three structural parameters of L_b/C , L_w/C and W_S/W_U , by analyzing the effect of three experimental factors changing on the level of test resistance of the net, the coefficient of energy consumption, and the coefficient of L/R . The results showed that the resistance of the net was primarily affected by L_w , L_b , and W_S in a descending sequence. The coefficient of energy consumption was primarily affected by W_S , L_b , L_w in a descending sequence when $L/S=0.45$; but when $L=10 \text{ m}$, L_w was the main influencing factor and the main influencing factor of the coefficient of L/R . The L_b/C of this type of net should be slightly smaller than used in small-mesh bottom trawls, but in a larger range (0.26–0.38) the change did not show a significant impact on the hydrodynamic performance of the nets. The best level of the experiment was when $L_w/C=0.31$, and L_w was the most significant factor among the three factors. And the best level of the experiment was when $W_S/W_U=0.19$, and W_S only needed to meet the height of the net mouth when trawling for shrimp, and given a priority to expand the horizontal distance of the net, was not concerned with the structural parameter of W_S/W_U .

Key words: orthogonal experimental design; four-panel trawl net; structural parameter; optimization analysis

Corresponding author: WANG Lumin. E-mail: wanglm@eastfishery.ac.cn