

# 双船底拖网渔具设计参数的研究

王明彦 陈雪忠 徐宝生

(东海水产研究所, 上海 200090)

**摘要** 本文通过多次拖网系列模型试验, 分析比较了我国双船底拖网渔具设计参数对网具性能的影响, 并指出选择设计参数的最佳范围。生产实践表明, 在这一最佳范围内选择设计参数, 所设计、制造的双船底拖网渔具能明显提高渔具作业性能及捕捞经济效益。

**关键词** 双船底拖网, 设计参数, 水动力性能

双船底拖网渔具在我国海洋捕捞业中占有十分重要的位置。提高其渔获物性能的关键是扩大拖网的扫海面积, 减小网具阻力及提高拖网对鱼类行为的适应性。而这又有赖于拖网设计参数的合理选择。迄今为止, 由于缺乏对双船底拖网渔具结构、性能的系统分析研究, 导致拖网渔具设计仍停留在经验设计阶段(广东省水产局, 1992)[鹿叔铎等, 1993]。为此, 我们在开展《双船底拖网渔具性能及其优化设计》项目研究的同时, 详细地比较分析了我国具有代表性的双船底拖网的结构、性能, 并在此基础上, 选择较佳网型作为母型网, 设计了多组系列拖网, 在东海水产研究所拖网渔具模型试验水池内, 进行多次拖网系列模型试验(王明彦等, 1990、1993)。

本文是以历次拖网系列模型试验的实验数据及结论为基础, 通过拖网水动力性能的比较, 着重分析拖网各部分设计参数对网具性能的影响, 并提出各设计参数的最佳范围, 为今后合理地设计双船底拖网渔具提供科学依据。

## 1 网具部分的设计参数

### 1.1 网身长度 $l_b$ 与网口周长 $C$ 之比(身周比)

网身对稳定拖曳状态下的渔具及引导鱼群顺利进入网囊起着重要的作用, 其长度是与捕捞对象的生态习性密切相关。一般而言, 以底层鱼和虾为对象的底拖网网身较短, 而以离底、集群性强的鱼为对象的拖网则网身较长。根据我国和日本的试验资料, 当拖网网口周长一定, 网身长度改变时, 网口高度和网具阻力均无明显变化。而当网身长度一定, 网口周长增加时, 则网口高度和网具阻力均将明显提高[大凡要一和小山武夫, 1987a](渔轮拖网阻力计算协作组, 1977; 王明彦, 1990)。由此可见, 网口周长是决定拖网水动力性能的主要因素之一。

拖网的水动力性能  $M$  可用下式表示[弗里德曼, 1988年中译本]。

收稿日期: 1995-04-19。

(1) 广东省水产局, 1992。广东省群众渔业优选拖网网型。1~20。

(2) 王明彦等, 1990。拖网渔具设计的基础研究-I。全国水产捕捞学术交流会论文集, 80~95。

(3) 王明彦等, 1993。拖网渔具设计的基础研究-III。全国水产捕捞学术交流会论文集, 第7集, 67~72。

(4) 渔轮拖网阻力计算协作组, 1977年。机轮双拖网模型系列试验报告, 上海水产研究所主编。

$$M = \frac{F}{R} = \frac{f \cdot H \cdot W}{R}$$

式中,  $F$ —拖网的扫海面积( $m^2$ );  $R$ —网具阻力(KN);  $H$ —网口高度(m);  $W$ —袖端间距(m);  $f$ —网口的形状系数(一般为0.8)。

假设拖网网口前的鱼群是均匀分布的,则拖网的水动力性能越高,其渔获性能也越好。

试验表明,任何一项拖网,当网具规模、网口部分的网目尺寸确定之后,其身周比只有在某一比值范围内时,拖网的水动力性能才能达到最高值(王明彦等,1990)。当拖网的网口周长在300米以下,拖网网口部分的网目长度为200毫米时,身周比的最佳值为0.36(图1)。当网目长度为1500毫米时,身周比的最佳范围减小为0.22~0.26(王明彦等,1994)。

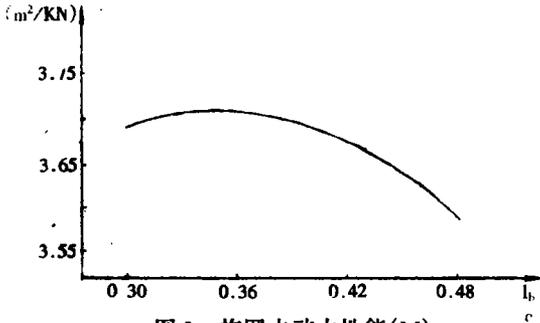


图1 拖网水动力性能(M)与身周比( $\frac{l_b}{c}$ )的关系( $V=3.5$ knot)

Fig.1 The relationship between hydrodynamic performance of trawl (M) and the ration of the body length to the mouth circumference of the net ( $l_b/c$ )

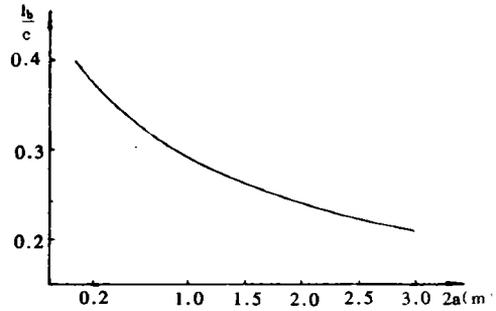


图2 身周比( $\frac{l_b}{c}$ )与网口部分网目长度(2a)的关系

Fig. 2 The relationship between ( $l_b/c$ ) and the mesh size of the netting in the part of the body(2a)

根据历次拖网模型试验的结论及较佳生产拖网的设计经验,对于功率441千瓦以下的拖网渔船所使用的双船底拖网,其最佳身周比与拖网网口部分网目尺寸的关系如图2所示。

由图2可知,拖网最佳的身周比随拖网网口部分网目尺寸的增大而减小。也就是说,对于一定功率的拖网渔船,当拖网网口部分的网目尺寸增大以后,网口周长可以进一步扩大,这时,为了使拖网保持较高的水动力性能,拖网的身周比也应随之减小。但是,其减小的幅度要随网目尺寸的增大而逐步降低,当网口部分网目长度为3000毫米时,其最佳身周比已接近最低值。

## 1.2 上网袖长度 $l_w$ 与网具总长度 $l$ 之比(袖长比)

网袖主要是起拦截及引导鱼群进入网身的作用。对于贴底、水平分布较密集的鱼群,为了增大网口的水平扩张度,网袖长度应长一些。但是,过长的网袖往往会增加阻力,同时也易于引起破网。据统计,我国东、黄海区双船底拖网的袖长比大致在0.14~0.27范围内。然而,从拖网水动力性能来看,任何一项拖网只有当袖长比在某一个比值范围内时,其水动力性能才能达到最高值。根据王明彦等(1990)拖网网袖系列模型试验结论得知,在一定的拖速条件下,网袖阻力要随袖长比的增加而增大。但是,当袖长比大于0.26之后,网具阻力几乎不再增加(

(5) 王明彦等,1994年。拖网渔具设计基础研究——II 双船底拖网渔具性能及其优化设计研究汇集,36~43。

图3)。同时,对于网口高度来说,只有当袖长比为0.22~0.26时,才能达到最高值(图4)。

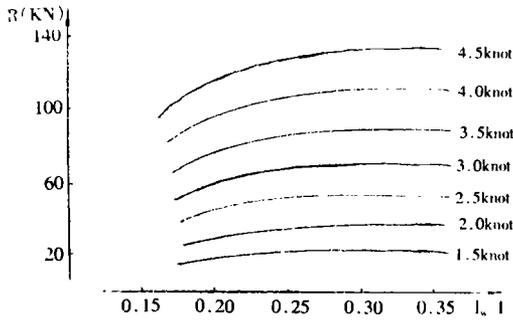


图3 网具阻力(R)与袖长比( $l_w/l$ )的关系

Fig.3 The relationship between net drag (R) and the ratio of the length of upper wing to the length of lower wing ( $l_w/l$ )

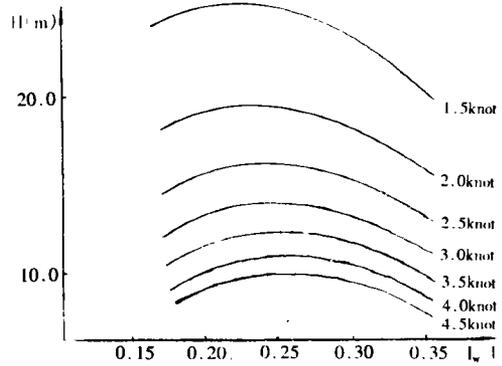


图4 网口高度(H)与袖长比( $\frac{l_w}{l}$ )的关系

Fig.4 The relationship between the height of mouth (H) and the ( $l_w/l$ )

此外,最佳袖长比与拖速也有一定的关系,当拖速为1.5节时,袖长比的最佳范围为0.22~0.23;当拖速增加为4.5节时,袖长比的最佳范围为0.24~0.26。由于实验条件所限,上述结论仅适用于网口周长小于200米的双船底拖网,对于网口周长大于200米的拖网,尚无定论,但是,根据较佳拖网的设计经验,其最佳袖长比应略低于上述实验值。

### 1.3 网盖长度 $l_s$ 与网口周长 C 之比(盖周比)

网盖的主要作用是防止鱼群往网口上方逃逸,其长度取决于鱼群的行为特性。根据鹿叔铎等[1993]的统计资料,我国东、黄海区双船底拖网的盖周比大致在0.02~0.086范围内,其中294千瓦~441千瓦拖网渔船所使用的疏目拖网,其盖周比为0.02~0.033;136千瓦~199千瓦的疏目拖网,盖周比为0.047~0.048。又根据广东省水产局(1992)的研究结论,双船底拖网的最佳盖周比为0.03~0.05。研究分析表明,双船底拖网的盖周比与网具规格、拖曳速度有一定的关系,当网口周长小于300米、拖速低于2.5节时,盖周比以0.03~0.05为宜。当网口周长大于300米、拖速高于3.5节时,则盖周比应在0.02~0.03范围内选择。总之,拖速越高、网具规格越大,则盖周比也应越小。此外,在确定网盖长度时,为了使拖网保持较高的水动力性能,应注意使拖网上、下纲长度之比保持在最佳范围内。

## 2 纲索部分的设计参数

### 2.1 上、下纲长度之比 $\frac{S_1}{S_2}$ (纲长比)

拖网上、下纲长度之比对网具性能有很大的影响。上纲长度长,下纲长度相对较短时,上纲较松弛,网口易于升高,而下纲却较难贴底。反之,若上纲较短,下纲相对较长时,上纲受力增大,网口不易升高,而下纲却易于贴底。但是,下纲过长时,会增加下纲对底的压力,从而使网具阻力明显增加。因此,使上、下纲长度保持一个合适的比例,乃是拖网设计的关键之一。

根据日本学者大沢要一和小山武夫[1987a, b]的研究结论,当拖网上纲长度一定,下纲长度改变时,若纲长比为 0.83 和 0.71,则网口高度最高,网具阻力也较大。当下纲长度一定,上纲长度改变时,只有当纲长比为 0.83 时,网口高度才达到最高值,而网具阻力却无明显变化。我国东、黄海区双船底拖网虽属于短袖型两片式拖网,但是,其纲长比大致也是在 0.80~0.86 范围内。为了确定我国双船底拖网纲长比的最佳范围,我们曾分别以不同规格的拖网为母型,多次进行变动纲长比的拖网系列模型试验(王明彦,1990、1994),试验结果表明,拖网的纲长比与网具规格关系较小,而与拖速的关系较大。然而,在一定的拖速条件下,纲长比的变化对网具阻力影响较小,而对网口高度却有明显的影响(图 5、图 6)。纲长比的最佳范围为 0.84~0.87。当拖速为 1.5 节时,最佳的纲长比是 0.84;而当拖速增加为 4.5 节时,最佳的纲长比约在 0.86 左右。

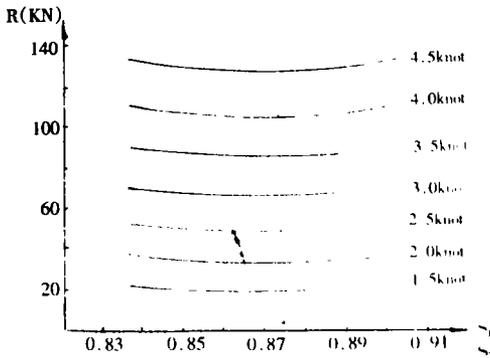


图 5 网具阻力与纲长比( $\frac{S_1}{S_2}$ )的关系

Fig.5 The relationship of R to the ratio of the length of upper rope to the length of lower rope( $\frac{S_1}{S_2}$ )

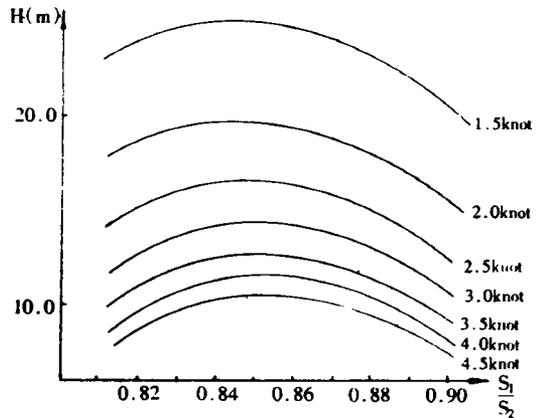


图 6 网口高度(H)与纲长比( $\frac{S_1}{S_2}$ )的关系

Fig.6 The relationship of (H) to the ( $\frac{S_1}{S_2}$ )

表 1 不同空纲长度时,拖网水动力性能(M)的比较

Table 1 Comparison of the hydrodynamic performance of trawl (M) with different length of wrie warp

空纲长度(m)	空纲长度 网口周长	水动力性能( $m^2/KN$ )			
		V = 2.5knot	3.0knot	3.5knot	4.0knot
150	0.5	11.88	7.21	4.72	3.28
120	0.4	12.37	7.40	4.78	3.29
110	0.36	12.10	7.34	4.80	3.33
90	0.30	12.32	7.24	4.62	3.13
70	0.23	10.72	6.51	4.26	2.96

## 2.2 空纲长度与网口周长之比

空纲长度对网口扩张有较大的影响,实践证明,在一定范围内,增加空纲长度有利于提高

网口高度。但是,过长的空纲,不仅会降低网口高度,而且会使部分上、下空纲纠缠在一起,从而带来操作上的不便[陈良国,1980;福建水产学校,1980]。为了探索适宜的空纲长度,我们曾以 300m×125.64m(73.6m)双船底拖网为母型,进行了变化空纲长度的拖网模型试验(表1)。由表1可知,最佳空纲长度与拖网网口周长及拖速有一定的关系。当拖速为3节时,只有当空纲长度与网口周长之比为0.40时,拖网的水动力性能才能达到最高值。然而,当拖速增加为3.5节以上时,拖网水动力性能的最高值出现在0.36。此外,当拖速高于3.5节、空纲长度与网口周长之比在0.36~0.50范围内时,拖网的水动力性能的差值较小。

由此可见,当拖速低于3.0节时,最佳的空纲长度应为网口周长的40%,当拖速大于3.5节之后,空纲长度可在网口周长的36%~50%范围内选择,但是,最佳空纲长度应为网口周长的36%。

### 3 浮、沉力配备的选择

#### 3.1 浮力配备对网具性能的影响

根据渔场环境、底质及捕捞对象的行为特性,合理调整浮、沉力配备是拖网取得良好捕捞效果的关键之一。王明彦等(1994)的试验结果表明,在保证下纲不离底的前提下,增加浮力有利于提高网口高度,而网具阻力也将随之增加。但是,网口高度的增幅明显大于网具阻力的增幅(表2)。

表2 浮力变化对网口高度和网具阻力的影响(V=3.5knot)

Table 2 The effect of changes of floating force on the height of trawlmouth and the net drag

浮力相对比	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2
网口高度相对比	1.000	1.160	1.288	1.272	1.300	1.500	1.508
网具阻力相对比	1.000	1.092	1.137	1.153	1.149	1.181	1.271

表3 各种拖速时,浮力的变化对网口高度的影响

Table 3 The effect of changes of floating force on the height of trawl mouth at different towing speed

浮力相对比	网口高度相对比					
	V=2.0knot	2.5knot	3.0knot	3.5knot	4.0knot	4.5knot
1.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.2	1.06	1.10	1.13	1.16	1.18	1.20
1.4	1.08	1.11	1.23	1.288	1.34	1.39

如浮力增加40%之后,网口高度可以提高28.8%,而网具阻力仅增加13.7%。另外,还可以看出,浮力增加以后,网口高度的增幅将随拖速的提高而增加(表3)。

如浮力增加40%之后,当拖速为2.5节时,网口高度仅增加11%,而当拖速为3.5节时,则网口高度可增加28.8%。

#### 3.2 基本浮、沉力配备的确定方法

根据底拖网的力平衡关系可以知道,任何一顶拖网,当袖端间距和空纲长度决定之后,网

具是依靠浮力和网具阻力的平衡关系来取得一定的网口高度,其关系式[和田光太,1976]为:

$$H = N \frac{Q}{R}.$$

式中,  $H$ —网口高度(m);  $Q$ —总浮力(KN);  $R$ —网具阻力(KN);  $N$ —比例常数。

由上式可知,要使拖网保持一定的网口高度,就必须使  $\frac{Q}{R}$  值保持不变。由于双船底拖网的网具阻力是近似与拖速的 1.62 次方成正比(王明彦等,1990),因此,当拖速增加时,为了维持原来的网口高度,浮力也应按相应的比例增加。另外,应当指出的是网具规格,袖端间距和空纲长度不同时,  $N$  值也是各不相同的。但是,对于同一种拖网渔具,  $N$  值可以认为是常数。据统计,我国东、黄海区双船底拖网的  $\frac{Q}{R}$  值如表 4 所示。

表 4 各种拖速时,双船底拖网的  $\frac{Q}{R}$  值

Table 4 The value of  $Q/R$  of two-boat bottom trawl at different towing speed

拖速(knot)	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
范围	0.140-0.150	0.080-0.100	0.060-0.075	0.050-0.060	0.040-0.050
$\frac{Q}{R}$ 均值	0.145	0.097	0.072	0.054	0.045
$\sigma_n$	0	0.00529	0.00364	0.00214	0

如果已知拖网的网具阻力及拖速,就可以利用表 4 来决定拖网的基本浮力配备。沉力应与浮力保持一定的比例,七十年代时,东、黄海区双船底拖网的浮力与沉力之比大致为 1:1.2~1.5。随着渔场和渔业资源种群、数量的变化以及网具的大型化,浮力与沉力之比已减小为 1:1.0~1.2,个别渔场拖网作业时,甚至取 1:0.8~0.9。总之,应根据实际情况作必要的调整。

## 4 应用实例

根据上述结论,我们分别为常熟市海洋渔业公司和大连海洋渔业总公司各设计了一顶双船底拖网,并在东、黄海渔场与原生产网进行了对比试验。

### 4.1 集体渔业 183.75 千瓦~198.45 千瓦渔船用双船底拖网(常熟市海洋渔业公司)

表 5 新设计网与原生产网的规格、参数

Table 5 The specifications and parameters of new-designed net and the original operation net

参 数	网口部分的		$\frac{l_w}{l}$	$\frac{l_c}{C}$	$\frac{l_b}{C}$	$\frac{S_1}{S_2}$	上中纲缩	下中纲缩	浮力:沉力
	网目长度(mm)	网口周目数							
288m×156.1m(85.4m)	800	360	0.215	0.044	0.335	0.84	0.35	0.31	1:0.86
新设计网									
190m×115m(71.6m)	250	700	0.25	0.33	0.384	0.90	0.40	0.35	1:1.11
原生产网									

#### 4.1.1 网具特点

新设计网以东、黄海区水深 60 米~120 米渔场的带鱼为主捕对象,兼捕其它鱼种,要求拖速在 2.0 节以上。网具采用剪裁与手编混合工艺方式装配,即网袖及网身第一、二段网衣采用剪裁方式,其余部分仍保留手编方式。

新设计网与原生产网的网具规格及参数如表 5 所示。

#### 4.1.2 网具性能

经拖网模型试验证明,在相同拖速条件下,新设计网的网口高度较原生产网提高 40% ~ 69%,网具阻力平均下降 11%,拖网水动力性能可提高 154.3% ~ 191.3%。

#### 4.1.3 生产效果

自 1990 年 11 月至 1991 年底止,在东、黄海渔场经过一年多的生产对比试验证明:

(1)新网的产量、产值分别比原生产网提高 22.4% 和 24.4%。(2)新网的幼鱼混获率较原生产网下降 6.5%,平均为 19.5%。(3)新网与原生产网相比具有节省能源,减少网材料消耗等优点。

自 1991 年起,已先后在常熟市海洋渔业公司同功率渔船上获得全面推广。

### 4.2 国有渔业 441 千瓦渔船用双船底拖网(大连海洋渔业总公司)

#### 4.2.1 网具特点

新设计网以东、黄海渔场底层及近底层鱼类为捕捞对象,要求拖速在 4.0 节左右。

网身采用混合工艺方式,即网身部分网目长度大于 300 毫米的网衣不采用剪裁方式,而是利用网目尺寸的变化,自然形成斜率,网身后部网衣仍保留剪裁方式。

新设计网与原生产网的网具规格和参数如表 6 所示。

表 6. 新设计网与原生产网的规格、参数

Table 6 The specifications and parameters of new-designed net and the original operation net

参 数	网口部分的	网口周目数	$\frac{l_w}{l}$	$\frac{l_c}{C}$	$\frac{l_b}{C}$	$\frac{S_1}{S_2}$	上中纲缩	下中纲缩	浮力:沉力	
	网目长度(mm)						结系数 E	结系数 E'		
360m × 139.42m(79.7m)										
网具规格										
新设计网	3000	120	0.215	0.025	0.212	0.856	0.35	0.30	1:1.2	
原生产网	1500	200	0.197	0.027	0.263	0.86	0.35	0.30	1:1.08	

#### 4.2.2 网具性能

经拖网模型试验证明,在相同拖速条件下,新设计网的网口高度比原生产网提高 38% ~ 40%,网具阻力下降 26.8%,网具水动力性能平均提高 23.2% ~ 43.6%。

#### 4.2.3 生产效果

自 1991 年 7 月至 1992 年 6 月止,新网与原生产网在东、黄海渔场进行了九个月的生产对比试验,试验结果如下:

(1)新网的产量、产值分别比原生产网提高 8.2%(用于浮拖可提高 24% 以上)和 15%。(2)新网渔获物中优质鱼的比例比原生产网提高 8.6%,带鱼渔获物中幼带鱼的比例可下降 15%。(3)新网与原生产网相比,还具有节省能源、提高拖速等优点。自 1992 年起,新网已在大连海洋渔业公司三对同功率拖网渔船上推广应用。

## 5 小结

双船底拖网的身周比与网具规模、网口部分网目尺寸有关,网口部分网目尺寸增大以后,

网具规模相应扩大,而身周比也应随之减小。当拖网的网口周长小于 300 米,网口部分的网目长度为 200 毫米时,最佳的身周比为 0.36。当网目长度增大为 1500 毫米时,身周比的最佳范围减小为 0.22~0.26。

袖长比与网口周长及拖速有关。当网口周长小于 200 米,拖速为 1.5 节时,袖长比的最佳范围为 0.22~0.23;当拖速增加为 4.5 节时,袖长比的最佳范围为 0.24~0.26。

盖周比与网具规格,拖速有关。当网口周长小于 300 米,拖速低于 2.5 节时,最佳的盖周比为 0.03~0.05。当网口周长大于 300 米,拖速高于 3.5 节时,盖周比的最佳范围为 0.02~0.03。

纲长比与网具规格关系不大,而与拖速有一定的关系。纲长比的最佳范围为 0.84~0.87,拖速越高,纲长比也应越大。

空纲长度与网口周长和拖速有一定的关系。当拖速低于 3.0 节时,最佳的空纲长度应为网口周长的 40%。拖速大于 3.5 节之后,最佳空纲长度应为网口周长的 36%。

双船底拖网总浮力和网具阻力之比与拖速有关,拖速越低,比值越大。当拖速为 3.0 节时,浮力与网具阻力之比应在 0.06~0.08 范围内。

根据上述研究结论所设计的双船底拖网,经过近一年的海上生产试验,证明其网具性能明显优于原生产网,并取得显著的捕捞经济效益。

参加本项工作还有东海水产研究所项忆军、郁岳峰和刘峰等同志,沈亚萍协助绘图,谨致谢意。

## 参 考 文 献

- [1] 陈良国,1980. 拖网设计与使用,91~94. 农业出版社(京)。
- [2] 福建水产学校主编,1980. 海洋捕捞技术(中册),194~197. 农业出版社(京)。
- [3] 鹿叔铎等,1993. 中国沿海中小型双船底拖网经验设计法. 水产学报,17(3):235~242.
- [4] 弗里德曼(侯恩准,高清廉译),1988. 渔具理论与设计,207~220. 海洋出版社(天津)。
- [5] 和田光太,1976. 实用トロール渔法,167~185. 成山堂书店。
- [6] 大沢要一、小山武夫,1987a. 模型网实验による曳网の渔具构成に関する基础研究,水工研报告。(8):187~213.
- [7] 大沢要一、小山武夫,1987b. 模型网实验による各种曳网の标准网型に関する研究,水工研报告。(8):214~232.

## STUDIES ON DESIGN-PARAMETERS OF TWO-BOAT BOTTOM TRAWL NET

Wang Mingyan, Chen Xuezhong and Xu Baosheng  
(East China Sea Fisheries Research Institute, Shanghai 200090)

**ABSTRACT** Two-boat bottom trawling has played an important role in Chinese offshore fishery. The catch performance of two boat bottom trawl has been obviously improved since the large-mesh trawl was introduced in recent years. But due to the lack of systematic analyses and deep researches on the structure and performance of trawl gear, the gear design has still remained in the embryo design stage. In order to make us understand further the gear performance and realize the optimization design of two-boat

bottom trawl, several specially designed serial modelling tests have been conducted in the towing tank of the East China Sea Fisheries Research Institute. After analysing the experimental data on the relationship between the main design-parameters and the net performance, the results concluded were as follows: (1) The ratio of the body length to the mouth circumference of the net ( $l_b/C$ ) is related to the net dimension and the mesh size of the netting in the front part of the body. With the enlargement of the mesh size of the trawl mouth, the dimension of the net increased accordingly but  $l_b/C$  decreased. The optimum  $l_b/C$  of a trawl with a mouth circumference of less than 300m reduced from 0.36 when the mesh size of the netting at the trawl mouth was 200mm and to 0.22 ~ 0.26 when the mesh size of the same part increased to 1500mm. (2) The optimum range of the ratio of the wing length to the mouth circumference was 0.22 ~ 0.26 if the circumference of the net was under 200m. (3) The ratio of the square length to the mouth circumference is related to the net size and towing speed. When the mouth circumference was longer than 300m, the optimum range of the ratio was 0.02 ~ 0.03 at a towing speed of over 3.5knots. The smaller the net dimension or the lower the towing speed, the greater the ratio. (4) The optimum range of the ratio of float line to the ground rope in length ( $l_w/l$ ) was 0.84 ~ 0.87. (5) The optimum range of the warp length should be 36% ~ 40% of the mouth circumference. (6) The ratio of the basic floating force to the net drag ( $Q/R$ ) should be kept at the range of 0.06 ~ 0.08 at a towing speed of 3 knots. The performance of the two-boat bottom trawls designed based on above research was evidently better than that of the original trawls. A much higher economic result has been proved during fishing operation at sea.

**KEYWORDS** two-boat bottom trawling, design-parameter, hydro-dynamic property