

南极磷虾拖网结构优化设计与网具性能试验

冯春雷, 刘 健, 张 禹, 王永进, 张 勋, 周爱忠, 王 磊, 王鲁民*

(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,
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: 目前中国南极磷虾渔业缺乏专用捕捞网具, 针对现有网具与渔船匹配性差、网口扩张较小的主要问题, 通过分析多种现用南极磷虾拖网结构及性能, 提出了缩短南极磷虾捕捞网具总长度和网身长度的优化方案, 自主设计了 TN01 型 4 片式小网目南极磷虾拖网。实船海上生产测试结果表明: 当曳纲长度小于 230 m 时, 囊网部位后翘影响导鱼效果。当曳纲大于 230 m 后, 随着作业水深增加, 囊网所处水深增加, 拖网网型展开良好, 建议网具浮沉比配备为 1: 1.1; 网口垂直扩张与曳纲收放长度关系无显著相关, 拖网航速为 1.542 m/s 时试验网具网口高度为 26~29 m, 垂直扩张比达到 0.11~0.12; 随着曳纲长度由 90 m 放长到 370 m, 水平扩张也由 14 m 扩张到 20 m, 水平扩张比为 0.22~0.32; 渔获量对比分析表明, 昼夜之间渔获量差异不大, 白天平均网次产量为 33 t, 夜晚平均网次产量为 28 t, 平均每网次渔获产量为 30 t, 较同渔区作业渔船(平均每网次产量约 20 t)提高约 50%。试验网具达到设计预估性能、渔获效率理想, 可为进一步自主研发南极磷虾捕捞网具提供参考依据。

关键词: 渔业; 设计; 模型结构; 南极磷虾; 捕捞; 拖网; 渔具; 模型试验

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.07.010

中图分类号: S977

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2017)-07-0075-07

冯春雷, 刘 健, 张 禹, 王永进, 张 勋, 周爱忠, 王 磊, 王鲁民. 南极磷虾拖网结构优化设计与网具性能试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(7): 75—81. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.07.010 <http://www.tcsae.org>
Feng Chunlei, Liu Jian, Zhang Yu, Wang Yongjin, Zhang Xun, Zhou Aizhong, Wang Lei, Wang Lumin. Structure improvement design and performance experiment of Antarctic krill trawl net[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2017, 33(7): 75 — 81. (in Chinese with English abstract) doi : 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.07.010 <http://www.tcsae.org>

0 引 言

南极磷虾资源量据估计可达 10 亿 t, 而且含有丰富的多元不饱和脂肪酸(Ω -3)等对人体有益的营养成分, 具有巨大的开发潜力和利用价值^[1-4]。中国自 2010 年开始对南极磷虾进行商业性试捕, 至 2015 年捕捞量已超过 6 万 t^[5-7]。但是纵观世界南极磷虾渔业捕捞现状, 中国磷虾捕捞技术还处于相对落后的状态, 与挪威、韩国等先进国家比较还存在明显的差距^[8-10]。中国在南极生产的大部分大型拖网渔船为非专业性磷虾生产船, 2013 年前其使用的磷虾捕捞网具主要是在原竹筴鱼拖网的基础上改进的大网目中层拖网。生产作业时发现该类型网具扩张性能较差, 捕捞性能不佳, 产量相对较低^[6,9]。目前中国南极磷虾拖网基本从冰岛、韩国、日本等国进口, 存在网具与渔船匹配性差、拖网网口扩张未达到最佳状态、起、放网时间长、网具局部容易爆网、浮沉比配备不当和网具拖曳水层调节不便等问题^[6,9]。

从 20 世纪 90 年代以来, 随着拖网技术的发展, 国内外拖网渔具的重大变革之一是设计与使用大网目拖网^[11-14]。80 年代末至 90 年代初, 荷兰卡特韦克 Maritiem 制造公司推出了 Garolien 系列拖网, 网口网目尺寸为 20~40 m, 这类网具在沙丁鱼、鲱鱼的捕捞生产中均有良好效益; 冰岛 Hampidjan 公司推出的 Gloria 系列拖网在鲑鳕、无须鳕的捕捞生产中有良好的业绩^[15]。Broadhurst 等^[16-17]通过模型试验研究得出背腹网网眼网目方向、结节方向对拖网网具阻力和网口垂直扩张具有显著影响。Balash 等^[18-19]分析了网具材料对网具阻力的影响。拖网网具作业性能与网型结构关系密切, 国内学者关于大网目拖网网具的性能研究主要集中在不同背腹网与侧网的宽度比^[20]、网袖长度与结构^[20-22]和网身长度^[22]等方面。根据这种理念设计的大型拖网渔船使用的大网目磷虾拖网, 网身一般采用四片式结构, 网口网目的目脚长度 5~10 m, 网目为菱形或六角形, 网身中后部使用小网目双层网衣, 囊网的最小网目尺寸在 15~20 mm。该类型网具网身长度达 100 m 以上, 网具全长 150 m 以上, 上、下纲长度 100 m 左右^[23]。与大网目拖网网具相比, 小网目中层拖网具有操作便捷、起放网耗时较少等优点, 适宜集群密度较大的小型捕捞对象^[23]。中国目前对于小网目南极磷虾捕捞网具的研究尚处于起步阶段^[24-29]。周爱忠等^[25-26]探讨了作业参数对小网目南极磷虾拖网的阻

收稿日期: 2016-03-10 修订日期: 2017-03-01

基金项目: 国家科技支撑计划(2013BAD13B03)

作者简介: 冯春雷, 男, 副研究员, 主要从事捕捞技术和渔具渔法研究。上海 中国水产科学研究院东海水产研究所, 200090。Email: fengcl@ecsf.ac.cn
*通信作者: 王鲁民, 男, 研究员, 主要从事网具材料与渔业发展战略研究。上海 中国水产科学研究院东海水产研究所, 200090。
Email: lmwang@ecsf.ac.cn

力、网口高度和能耗系数的影响。冯春雷等^[27]通过试验研究了调整浮沉比、上下手纲（等长）和叉纲等参数对南极磷虾拖网的性能影响，为优化网具性能提供了技术参考。孟涛^[28]和徐鹏翔等^[23,29]针对辽宁远洋渔业有限公司引进的日本和韩国 2 种小网目南极磷虾拖网，通过水槽模型试验，分析比较了网具的水动力性能。黄洪亮等^[30]自主研发了一种小网目南极磷虾专用拖网，初步解决了网具装配工艺复杂、网具阻力大等问题。

本文在收集整理国内外主要在用的南极磷虾拖网的相关资料基础上，通过渔具模型试验掌握了各种拖网的水动力性能，结合现有南极磷虾拖网网具的性能分析结果，自主设计了一种 4 片式小网目南极磷虾捕捞网具的改进方案，并进行了海上生产试验，以期研发优质、高效的南极磷虾捕捞网具提供参考依据。

表 1 实物网主要规格和结构参数

Table 1 Main specifications and structure parameters of prototype trawl net

网具编号 Net No.	网具总长 Total length of net L_t /m	网口周长 Circumference of net mouth C /m	网袖长度 Length of wing L_w /m	网身长度 Length of body net L_b /m	L_b/C	L_w/C	上纲长度 Length of head line S_1 /m	下纲长度 Length of ground rope S /m	浮力 Buoyancy F /kN	沉力 Sinking force G /kN
1	147.2	884	28	119.2	0.134	0.032	75	75	9.4	9.4
2	140.1	884	28.8	111.3	0.125	0.032	78.1	78.1	9.4	9.4
3	164.0	720	52	112.0	0.156	0.072	119	119	9.4	9.4
4	198.6	832	48	150.6	0.181	0.057	116.7	116.7	9.4	9.4
5	186.6	832	56	130	0.157	0.067	117.4	117.4	9.4	9.4
6	65.4	163.2	14.4	51	0.312	0.088	33.9	33.9	13.7	13.7

1.2 试验方法和数据处理

网具模型试验在东海水产研究所拖网渔具模型试验水池内进行，试验设备包括：静水池规格为 90 m×6 m×3 m。拖车驱动电机功率 7.5 kW×4，拖速范围 0.1~4 m/s，配有微机处理调速系统，速度精度±1%。光电测速仪精度±0.01%。测力传感器量程 100 N，非线性误差 0.4%。网高仪为日产 FE-6300 型网位探深仪，距离分辨率 30 mm。

试验布设见图 1。固定点 1 为拖车上的两个调节杆，杆上有 2 个测量水平拉力的测力传感器，2 个测力传感器测得的合力为网具的阻力。通过调节两个调节杆的水平间距（ L ），实现设定试验条件下网具不同的水平扩张比（ L/S ）。网具的网口高度由网高仪测量。因网具规格不同，试验中为保证袖端间距相同，试验工况设定为 3 种：1、3 号网均取 0.44、0.52、0.67；其他网具 L/S 均取 0.40、0.45、0.50。拖速从 0.771~2.313 m/s，以 0.257 m/s 递增。按 SC/T4011-1995 “拖网模型水池试验方法”标准进行试验和数据处理^[31]。

1) 实物网阻力与模型网阻力的关系

$$F_s = F_m \lambda^2 \lambda' \quad (1)$$

式中 F_s 为实物网阻力，kN； F_m 为模型网阻力，kN； λ 为模型的大尺度比， λ' 为小尺度比。

2) 实物网与模型网的网口高度的关系

$$H_s = H_m \cdot \lambda \quad (2)$$

式中 H_s 为实物网的网口高度，m； H_m 为模型网的网口高度，m。

1 现有捕捞网具性能分析

1.1 试验材料

选取 6 顶南极磷虾探捕拖网为实物网，均为 4 片式结构，网具的各主要参数如表 1 所示，重锤配备为 0.5 t×2。根据 6 顶实物网结构特征和规格以及模型试验水池的规格，按照田内准则等方法^[31]选取模型网的大尺度比（实物网具与模型网具主线尺度之比值）分别为 40（1~5 号网）和 8.7（6 号网），小尺度比（实物网具与模型网具对应部位的网线直径之比值或网目长度之比值）取 9，设计制作模型网，并按要求配备浮沉力。大网目实物网由于网口和网袖部分网目规格大，网目数较少，所以模型网换算时采取保持前部网目数和结构型式与实物相同的方法进行处理。

3) 实物网的能耗系数计算

能耗系数是表征拖网效率的重要指标，其值是用网具过滤单位水体所消耗的能量来表示。

$$C_e = 3.472 \frac{F_s}{H_s \cdot L_s} \quad (3)$$

式中 C_e 是实物在设定拖速下的能耗系数， 10^{-4} kW·h/m³； L_s 为实物网在该速度下袖端的计算水平间距，m。

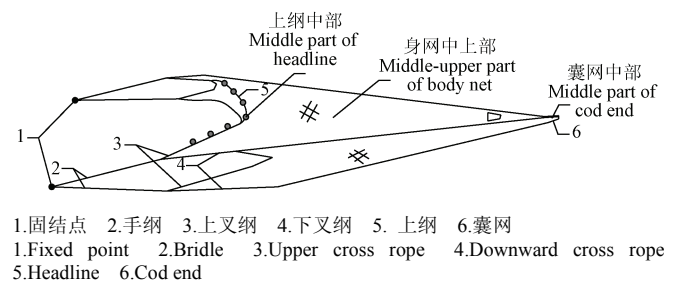


图 1 拖网水槽模型试验示意图

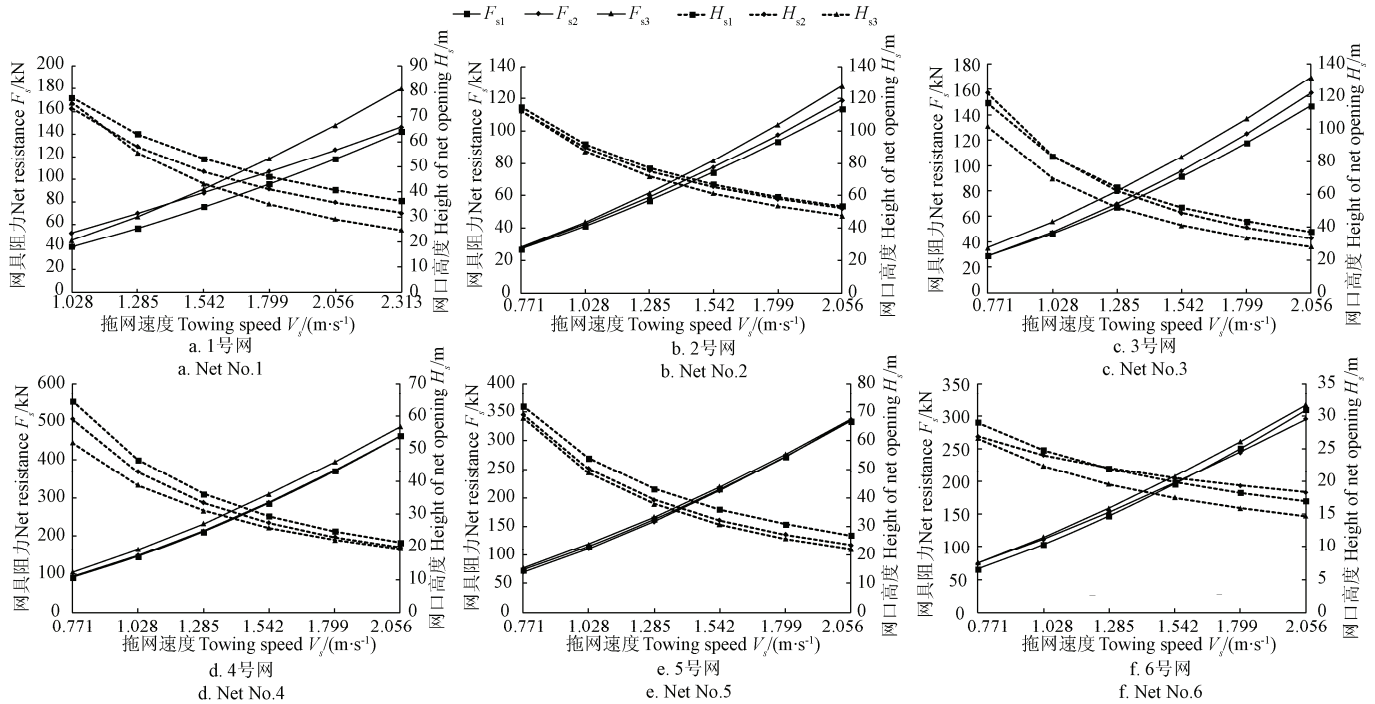
Fig.1 Sketch map of model trawl net experiment in tank

1.3 结果分析

根据“拖网模型水池试验方法”标准进行数据处理，结果如图 2 所示。由图 2 可知，所有试验条件下，随着拖速的增加，模型网的网具阻力增加，而网口高度明显降低。换算成实际拖速 1.542 m/s 时^[13]各网具阻力和网口高度随水平扩张比的变化情况看，1 号网阻力变化为 75.51~91.01 kN，网口高度变化为 53.09~43.21 m；2 号网阻力变化为 74.68~81.93 kN，网口高度变化为 66.99~

61.40 m; 3 号网阻力变化为 91.21~106.80 kN, 网口高度变化为 52.12~41.06 m; 4 号网阻力变化为 286.26~309.58 kN, 网口高度变化为 25.85~29.44 m; 5 号网阻力变化为 212.17~221.13 kN, 网口高度变化为 35.92~30.70 m; 6 号网阻力变化为 196.36~207.37 kN, 网口高度变化为 20.54~17.48 m。由此可知, 1~3 号网的网口高度较大, 其扫海面积大, 理论上分析可捕获更多渔获,

然而磷虾游泳能力较弱, 当大网目滤过虾群时, 磷虾会从网目中间逃逸, 不能发挥高网口的优势。4~6 号网网具阻力偏大, 影响拖网速度, 而 6 号网网口高度偏低, 扫海面积较小, 根据实际作业需求, 网口高度宜在 20 m 以上为佳。因此, 从现有网具的水动力性能分析, 各网具均存在一定的问题, 在南极磷虾拖网的优化设计中需要加以考虑, 以提高网具的水动力性能, 并符合实际作业情况。

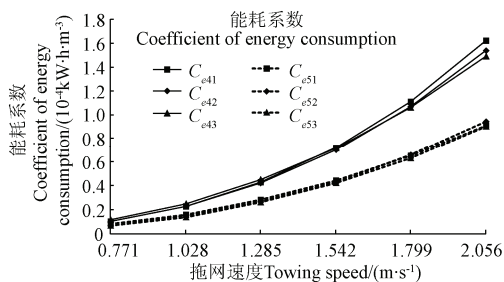


注: F_{sj} ($j=1,2,3$) 和 H_{sj} ($j=1,2,3$) 分别表示 3 种工况下的网具阻力和网口高度, 1、3 号网水平扩张比为 0.44、0.52、0.67, 其他网具为 0.40、0.45、0.50。
Note: F_{sj} ($j=1,2,3$) and H_{sj} ($j=1,2,3$) represent the net resistance and height of net opening under 3 test conditions, the expansion ratios of net No.1 and No.3 are 0.44, 0.52 and 0.67, other nets are 0.40, 0.45 and 0.50 respectively.

图 2 不同拖速下网具阻力和网口高度变化

Fig.2 Changes of net resistance and height of net opening under different towing speeds

4 号网与 5 号网网口周长相等, 浮沉力、上下纲长度、叉纲长度和手纲长度等参数基本一致, 两项网能耗系数对比情况如图 3 所示。



注: C_{ej} 中 i 为网具编号, j 为工况编号
Note: In C_{ej} , i stands for the net number and j stands for the number of test conditions.

图 3 4、5 号网能耗系数对比

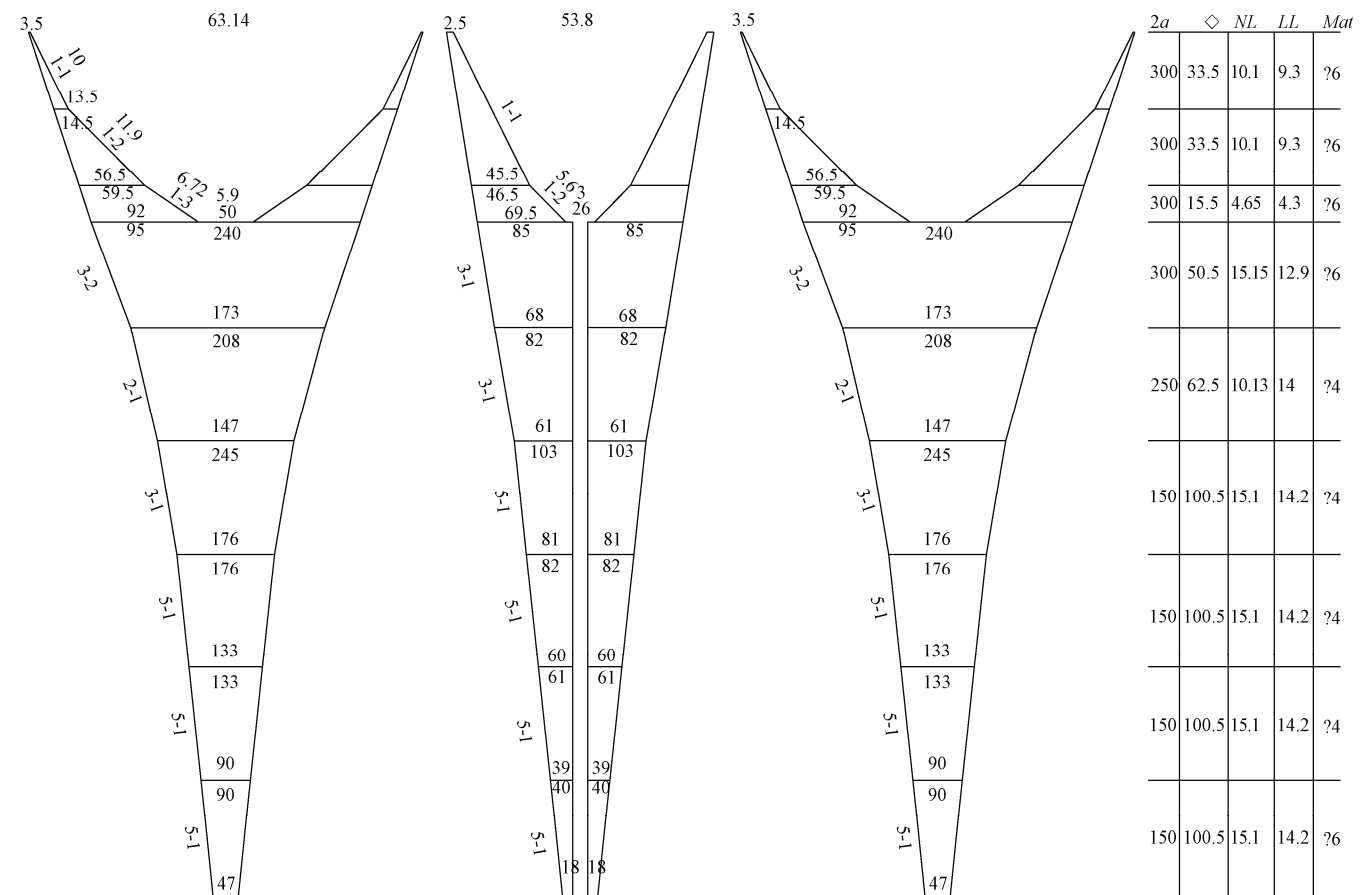
Fig.3 Contrast of coefficient of energy consumption between trawl net No.4 and No.5

由图 3 中可知, 两项网能耗系数随水平扩张的变化不大, 而在相同水平扩张下, 5 号网的能耗系数明显低于 4 号网的能耗系数。从网具结构参数上看, 5 号网的网具总长度略短, 网身长度较 4 号网小 13.68%, 而网袖长度

大 16.67%, 其他结构参数基本相同。因此, 5 号网水动力性能较佳原因可能是较长的网袖增加了网口的扩张, 同时大网目数较多能够滤过更多的水体, 降低了网具的阻力, 因此在南极磷拖网设计中可以考虑缩短网具总长度和网身长度。

2 改进设计方案

通过对现有南极磷虾捕捞网具的水动力性能分析, 发现现有网具因网口周长过大、网具总长偏长, 存在网具阻力偏大、网口高度不符合实际作业需求的问题。实际作业时起网时间较长将会耽误作业效率, 网型不合理, 存在爆网现象, 易造成渔获损失、影响渔船拖速等问题。为提高中国磷虾拖网渔船作业效率, 综合上述研究结果, 提出新型南极磷虾网具 (TN01 型) 的优化方案 (图 4)。TN01 型南极磷虾拖网系单船有翼单囊拖网, 采用 4 片式设计, 6 片式缝合, 双层单拖网结构, 背、腹网对称; 网口周长减小为 246 m, 网身长度缩短为 101.6 m, 网目尺寸 300 mm, 内网网目尺寸为 30~20 mm; 囊网长度为 45 m, 囊网内网网目尺寸为 15 mm; 上下纲长度为 63.14 m, 侧纲长度为 53.8 m。



注: 2a 为网目尺寸, \diamond 为网目数, NL 为拉紧长度, LL 为缩结长度, Mat 为网线材料直径。
Note: 2a stands for mesh size, \diamond stands for mesh numbers, NL stands for the length of net after straighten, LL stands for the length of net after hanging, Mat stands for the diameter of the net materials.

图 4 TN01 型南极磷虾捕捞网具示意图
Fig.4 Schematic diagram of trawl net (ID: TN01) for Antarctic krill

3 海上生产测试结果

3.1 海试方案

海上测试时间为 2015 年 4 月 19 日—4 月 27 日, 共计 9 d。试验渔船为上海开创远洋渔业有限公司“开利轮”, 试验船为大型中层拖网加工船, 总长 109.6 m, 船宽 19 m, 主机功率 5 256 kW。网具采用双手纲, 上下手纲长度为 150 m, 水平扩张装置叉纲为 23 m。在试网时利用加拿大 RBR 公司的 TDR-2050 型便携式温深计分别测定上纲中部在水中深度(上纲中部位置所处水深)、身网中上部在水中深度(网身第 1 节与衬网间所处水深)、囊网在水中深度(囊网中部位置所处水深), 作为囊网预加浮力调整的依据。试验主要调节参数有: 浮力、沉力、曳纲长度、拖速等。通过网位仪观察不同试验条件下的网口水平、垂直扩张, 并记录拖曳时间和网次产量。

3.2 浮沉力配备调整

根据作业水深、南极磷虾的行为特性以及拖曳速度, 合理调整浮沉力配备, 是取得良好捕捞效果的关键。初始作业时 TN01 型拖网浮力配备规格为泡沫浮子 72 \times 0.13 kN+22 \times 0.06 kN, 沉子纲规格为铁链产生重力 8.82 kN, 重锤 2 只(每只重力 2.45 kN)。第 1 次试网测试结果, 网口高度(网具垂直扩张)约 20 m, 而水平扩张仅为 12 m, 未达到理想效果。调整后, 浮力配备改为

泡沫浮子 2 \times 14.7 kN+22 \times 0.06 kN, 浮力为 14.7 kN 的浮子规格为浮子周长 3.4 m, 长度 1.6 m, 浮力共计 30.72 kN。第 2 次试网测试结果, 网口高度能够达到 24 m, 而水平扩张仅为 15 m 左右, 判断原因为浮力配备过大。由表 2 可知, 在 2 次浮力调整试验中, 囊网部位所处水深较身网中上部所处水深浅, 说明囊网所配浮力偏大, 在拖曳过程中上翘, 不利于捕捞磷虾时导鱼入网的效果, 因此需要减少囊网部位的浮力配备, 拟减少 1/3~2/5 的浮力。

表 2 拖网不同部位所处水深			
Table 2 Depth of different parts of trawl net			
试验序号 Test No.	上纲中部在水中深度 Depth of middle part of headline in water/m	身网中上部在水中深度 Depth of middle-upper part of body net in water/m	囊网在水中深度 Depth of cod end in water/m
1	8.48	15.58	12.27
2	36.67	47.59	36.74

注: 第 1 次试网浮力配备为 72 \times 0.13 kN+22 \times 0.06 kN, 第 2 次试网浮力配备为 2 \times 14.7 kN+22 \times 0.06 kN。
Note: Buoyancy of test No.1 was equipped with 72 \times 0.13 kN+22 \times 0.06 kN and buoyancy of test No.2 was equipped with 2 \times 14.7 kN+22 \times 0.06 kN.

调整后的拖网浮沉力配备为泡沫浮子 84 \times 0.13 kN+22 \times 0.06 kN, 沉子纲规格为铁链 8.82 kN, 重锤 2 只(每只重力 2.45 kN), 浮沉比约为 1:1.1, 总浮力控制为 12.24 kN, 囊网部位浮力减小 2/5; 如图 5 所示为拖网不同部位(上纲中部、身网中上部和囊网部位)所处

水深变化。随着曳纲长度的变化，上纲中部所处水深一直最低，而身网和囊网所处水深却出现了交替点。当曳纲长度小于 230 m 长时，囊网所处的水深低于身网部位，说明囊网浮力仍偏大，囊网部位后翘影响导鱼效果，而在曳纲大于 230 m 后，作业水深增加，囊网所处水深增加，拖网网型展开良好。因此可得出结论，在此浮沉力配置下，TN01 型拖网更适用于深水拖网，才能保证网型的良好形状，若进行浅水层的拖网则需要减小网具囊网部位的浮力，适当调整浮沉力，才能保证较好的渔获效果。根据试验观察以及数据测定分析，建议实际生产中 TN01 型网具的浮沉比配备为 1:1.1。

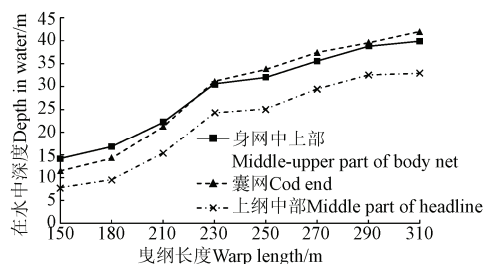
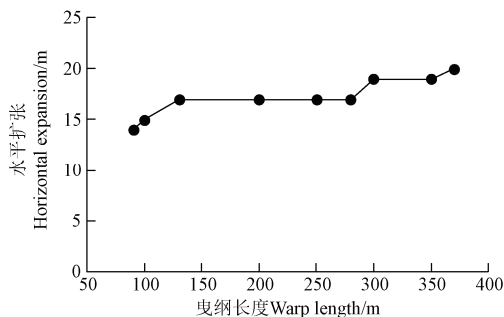


图 5 不同部位随曳纲长度变化的所处水深

Fig.5 Depth of different parts of trawl net in water along with changes of warp length

3.3 水动力性能

在南极磷虾拖网作业中，要求作业网具的网口高度在 20~30 m 之间^[9]。利用开利轮现有水平扩张装置，TN01 型拖网在手纲配置为 150 m、浮沉比为 1:1.1 时，网口高度能够达到 26~29 m。试验中观察，网口垂直扩张与曳纲收放长度无显著相关性。当曳纲从几十米增加到 300 m 左右时，网口垂直扩张呈现起伏变化，这或许与拖速的变化有关。综合试验分析可知，拖速为 1.542 m/s 时试验网具网口高度为 26~29 m，垂直扩张比（网口高度与网口周长之比）达到 0.11~0.12。由图 6 可知，随着曳纲由 90 m 放长到 370 m，水平扩张也由 14 m 扩张到 20 m，水平扩张比为 0.22~0.32。试验网具达到设计预估性能，垂直扩张和水平扩张效果良好。



注：拖网速度为 1.542 m·s⁻¹ 时
Note: Towing speed $V=1.542 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

图 6 不同曳纲长度下的网具水平扩张

Fig.6 Horizontal expansion of trawl net in different warp length

3.4 渔获产量

生产作业期间，拖网时间一般为 45~60 min，试验

网具测试 15 次。每网次产量如图 7 所示，最高单网次作业渔获总量为 40 t，渔获效果良好。由于磷虾的生物学行为具有昼夜浮沉（不同渔区有差异）的特性，因此，作业时需要调整曳纲的长度进行适当调整，以适应不同水层的作业。白天时间，海面具有光照，磷虾群上浮，因此作业时水深较浅，一般在 50 m 以内，而在夜晚时间，磷虾群下潜，作业水深也随之调整到更深水层，作业水深一般在 70 m 左右。从渔获量对比分析，昼夜之间渔获量差异不大，白天平均每网次渔获产量约为 33 t，而夜晚平均每网次渔获产量约为 28 t，平均每网次渔获产量可达 30 t，渔获效率理想，较同渔区其他拖网渔船渔获产量（一般平均每网次渔获产量约为 20 t^[32]）提高约 50%。

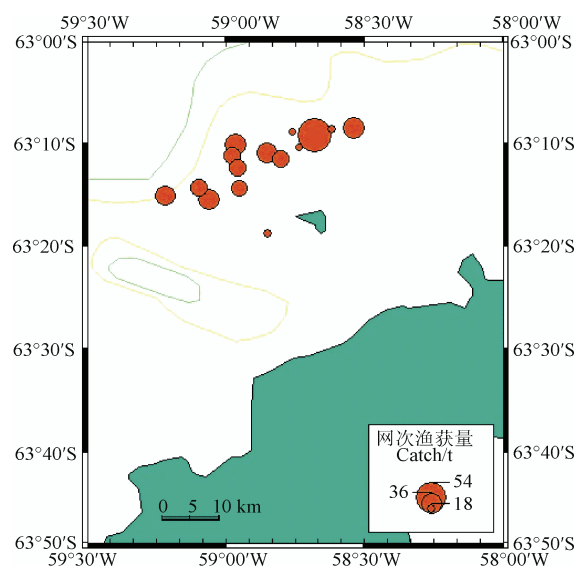


图 7 南极磷虾渔获量结果

Fig.7 Catches of Antarctic krill

4 结 论

1) 针对南极磷虾生产作业中拖网网具与渔船匹配性差、网口扩张较小的主要问题，在对国内外现有南极磷虾拖网进行全面模型试验的基础上，完成了网具的选型优化分析、网具优化设计、海上测试。自主设计并制造完成了 TN01 型南极磷虾拖网。TN01 型网具系单船有翼单囊拖网，采用 4 片式设计，6 片式缝合，双层单拖网结构，背、腹网对称；网口周长为 246 m，网身长度为 101.6 m，网目尺寸 300 mm，内网网目尺寸为 30~20 mm；囊网长度为 45 m，囊网内网网目尺寸为 15 mm；上下纲长度为 63.14 m，侧纲长度为 53.8 m。

2) 海上测试结果表明南极磷虾捕捞拖网稳定性高，网口扩张良好。当曳纲长度小于 230 m 长时，囊网的所处水深低于身网部位，说明囊网浮力仍偏大，囊网部位后翘影响导鱼效果。当曳纲大于 230 m 后，随着作业水深增加，囊网水深增加，拖网网型展开良好。实际生产中建议网具浮沉比设置为 1:1.1，具体可配备泡沫浮子 84×0.13 kN+22×0.06 kN，沉子纲配备铁链 8.82 kN，重锤 2 只（每只重力 2.45 kN）。

3) 拖速为 1.542 m/s 时试验网具网口高度为 26~

29 m, 垂直扩张比达到 0.11~0.12。随着曳纲由 90 m 放长到 370 m, 水平扩张也由 14 m 扩张到 20 m, 水平扩张比为 0.22~0.32。试验网具达到设计预估性能, 垂直扩张和水平扩张效果良好。

4) 渔获量情况方面, 平均每网次渔获产量为 30 t, 较同渔区其他拖网渔船渔获产量 (一般平均每网次渔获产量约为 20 t) 提高约 50%。渔获效率理想, 可为进一步自主研发优质、高效的南极磷虾捕捞网具提供参考依据。

[参 考 文 献]

- [1] 王荣, 孙松. 南极磷虾渔业现状与展望[J]. 海洋科学, 1995, 19(2): 28—32.
- [2] 黄洪亮, 陈雪忠, 冯春雷. 南极磷虾资源开发现状分析[J]. 渔业现代化, 2007, 34(1): 48—51.
Huang Hongliang, Chen Xuezhong, Feng Chunlei. Analysis on the resources and current situation of exploitation of Antarctic krill[J]. Fishery Modernization, 2007, 34(1): 48—51. (in Chinese with English abstract)
- [3] 刘勤, 黄洪亮, 刘健, 等. 南极磷虾渔业管理形势分析[J]. 中国海洋大学学报: 社会科学版, 2015(2): 7—12.
Liu Qin, Huang Hongliang, Liu Jian, et al. An analysis of Antarctic krill fisheries management situation[J]. Journal of Ocean University of China: Social Sciences, 2015(2): 7—12. (in Chinese with English abstract)
- [4] Atkinson A, Siegel V, Pakhomov E A, et al. A re-appraisal of the total biomass and annual production of Antarctic krill[J]. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 2009, 56(5): 727—740.
- [5] 陈雪忠, 徐兆礼, 黄洪亮. 南极磷虾资源利用现状与中国的开发策略分析[J]. 中国水产科学, 2009, 16(3): 451—458.
Chen Xuezhong, Xu Zhaoli, Huang Hongliang. Development strategy on Antarctic krill resource utilization in China[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16(3): 451—458. (in Chinese with English abstract)
- [6] 黄洪亮, 陈雪忠, 刘健, 等. 南极磷虾渔业近况与趋势分析[J]. 极地研究, 2015, 27(1): 25—30.
Huang Hongliang, Chen Xuezhong, Liu Jian, et al. Analysis of the status and trend of the Antarctic krill fishery[J]. Chinese Journal of Polar Research, 2015, 27(1): 25—30. (in Chinese with English abstract)
- [7] CCAMLR. CCAMLR Statistical Bulletin Volume 28[DB/OL]. [2016-04-27] <https://www.ccamlr.org/en/document/data/ccamlr-statistical-bulletin-vol-28>.
- [8] 岳冬冬, 王鲁民, 黄洪亮, 等. 我国南极磷虾资源开发利用技术发展现状与对策[J]. 中国农业科技导报, 2015, 17(3): 159—166.
Yue Dongdong, Wang Lumin, Huang Hongliang, et al. Status of development and countermeasures on utilization technology of Antarctic krill resources in China[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2015, 17(3): 159—166. (in Chinese with English abstract)
- [9] 徐国栋, 陈雪忠, 黄洪亮, 等. 南极磷虾捕捞技术探讨[J]. 湖南农业科学, 2011(19): 122—124, 128.
Xu Guodong, Chen Xuezhong, Huang Hongliang, et al. The fishing technology for *Euphausia superba*[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2011(19): 122—124, 128. (in Chinese with English abstract)
- [10] 郑晓伟, 沈建. 南极磷虾捕捞初期适宜挤压脱壳工艺参数[J]. 农业工程学报, 2016(2): 252—257.
Zheng Xiaowei, Shen Jian. Appropriate shelling process parameters of Antarctic krill at initial stage of fishing[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016(2): 252—257. (in Chinese with English abstract)
- [11] 许永久, 张敏, 邹晓荣, 等. 我国竹筴鱼中层拖网网具性能分析[J]. 上海水产大学学报, 2008(2): 215—221.
Xu Yongjiu, Zhang Min, Zou Xiaorong, et al. A primary study on characteristics of Chinese midwater trawls of Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*)[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2008(2): 215—221. (in Chinese with English abstract)
- [12] 王永进, 张禹, 徐国栋, 等. 我国大网目拖网渔具研究进展与应用现状[J]. 中国农业科技导报, 2015, 17(1): 160—166.
Wang Yongjin, Zhang Yu, Xu Guodong, et al. Progress and application status on trawls with large-size mesh in China[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2015, 17(1): 160—166. (in Chinese with English abstract)
- [13] Brinkhof J, Larsen R B, Herrmann B, et al. Improving catch efficiency by changing ground gear design: Case study of Northeast Atlantic cod (*Gadus morhua*) in the Barents Sea bottom trawl fishery[J]. Fisheries Research, 2017, 186: 269—282.
- [14] Krafft B A, Krag L A, Engås A, et al. Quantifying the escape mortality of trawl caught Antarctic krill (*Euphausia superba*)[J]. PloS one, 2016, 11(9): 1—19.
- [15] 清水. 世界上最大的拖网-格洛利亚中层拖网[J]. 中国渔业经济, 1994(6): 40.
- [16] Broadhurst M K, Sterling D J, Millar R B. Increasing lateral mesh openings in penaeid trawls to improve selection and reduce drag[J]. Fisheries Research, 2015, 170: 68—75.
- [17] Broadhurst M K, Balash C, Sterling D J, et al. Effects of knot orientation on the height and drag of a penaeid trawl[J]. Fisheries Research, 2017, 186: 48—54.
- [18] Balash C, Sterling D. Prawn trawl drag due to material properties—an investigation of the potential for drag reduction[J]. Journal of Applied Physics, 2012, 46(3): 1376—1381.
- [19] Balash C, Sterling D, Binns J, et al. The effect of mesh orientation on netting drag and its application to innovative prawn trawl design[J]. Fisheries Research, 2015, 164(5): 206—213.
- [20] 陈雪忠, 黄洪亮. 单船中层拖网网具操作参数变化的研究[J]. 中国水产科学, 2004, 11(增刊): 63—68.
Chen Xuezhong, Huang Hongliang. Operational parameters of single mid-water trawl net[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2004, 11(Suppl.): 63—68. (in Chinese with English abstract)
- [21] 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.
- [22] 王永进, 万荣, 王鲁民, 等. 大网目底拖网网身长度对网具性能的影响[J]. 海洋渔业, 2014, 36(3): 260—264.
Wang Yongjin, Wan Rong, Wang Lumin, et al. Effects of bottom trawl body with large-size meshes on net performance[J]. Marine Fisheries, 2014, 36(3): 260—264. (in Chinese with English abstract)
- [23] 徐鹏翔. 南极磷虾中层拖网性能研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2016.
Xu Pengxiang. Performance of Antarctic Krill Midwater Trawl[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016. (in Chinese with English abstract)
- [24] 徐国栋. 南极磷虾拖网设计与性能分析[D]. 上海: 上海海洋大学, 2011.
Xu Guodong. The Antarctic Krill Trawl Design and Performance Analysis[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2011. (in Chinese with English abstract)
- [25] 周爱忠, 冯春雷. 南极磷虾拖网的试验研究[J]. 现代渔业信息, 2011, 26(8): 6—9.
Zhou Aizhong, Feng Chunlei. Experiment and research of krill trawl net[J]. Journal of Modern Fisheries Information, 2011, 26(8): 6—9. (in Chinese with English abstract)

- [26] 周爱忠, 冯春雷, 张勋, 等. 调整作业参数对小网目南极磷虾拖网水动力性能的影响[J]. 海洋渔业, 2016, 38(1): 74—82.
Zhou Aizhong, Feng Chunlei, Zhang Xun, et al. Experiment and research of krill trawl net[J]. Marine Fisheries, 2016, 38(1): 74—82. (in Chinese with English abstract)
- [27] 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.
Feng Chunlei, Huang Hongliang, Zhou Aizhong, et al. Performance optimization of a trawl for Antarctic krill[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2012, 19(4): 662—670. (in Chinese with English abstract)
- [28] 孟涛. 基于模型试验的我国南极磷虾中层拖网扩张性能研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2014.
Meng Tao. The Expansion Performance of Antarctic Krill Mid-Water Trawl Used by Chinese Fishing Fleets-Examination by Modeling Experiments[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University. 2014. (in Chinese with English abstract)
- [29] 徐鹏翔, 许柳雄, 孟涛, 等. 日韩小网目南极磷虾拖网性能对比分析[J]. 中国水产科学, 2015, 22(4): 837—846.
Xu Pengxiang, Xu Liuxiong, Meng Tao, et al. Comparative analysis on the performance of Japan and South Korea Antarctic krill mid-water trawls with small mesh sizes[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(4): 837—846. (in Chinese with English abstract)
- [30] 中国水产科学研究院东海水产研究所. 一种南极磷虾拖网网具 ZL2014102002533[P]. 2016-03-30.
- [31] 中华人民共和国农业部. 拖网模型水池试验方法 SC/T 4011-1995[S]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [32] 阮超, 张衡, 崔雪森, 等. 南设得兰群岛附近海域南极磷虾渔场时空分布及其与表温的关系[J]. 生态学杂志, 2016(9): 2435—2441.
Ruan Chao, Zhang Heng, Cui Xuesen, et al. Spatial-temporal distribution of Antarctic krill fishing ground and their relationship with sea surface temperature in waters around the South Shetland Islands[J]. Chinese Journal of Ecology, 2016(9): 2435—2441. (in Chinese with English abstract)

Structure improvement design and performance experiment of Antarctic krill trawl net

Feng Chunlei, Liu Jian, Zhang Yu, Wang Yongjin, Zhang Xun, Zhou Aizhong, Wang Lei, Wang Lumin*

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

Abstract: The Antarctic krill resource is very abundant in the area surrounding the Antarctic and the total production in China has reached nearly 60 000 t. At present, the existing problems are the lack of exclusive localization fishing gears for Antarctic krill fisheries and the low matching degree between the trawl net and the fishing vessels. Through collecting the production situation of fishery company at home and abroad, 6 kinds of different existing Antarctic krill trawl nets were selected as the experimental prototype. The model test was carried out in the flume of trawl fishing gear in East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences. The coefficient of energy consumption, net resistance and height of net opening of different trawl nets were measured under 3 test conditions. The model test results showed that the height of net opening of trawl net No.1-3 was higher than other types of trawl nets, but its mesh size was too large to stop the escape of Antarctic krill. The net resistance of trawl net No.4-6 was higher than others. Based on the analysis of the hydrodynamic performance of 6 kinds of existing Antarctic krill trawl nets imported from fishery developed countries, an improvement program of TN01 type four-panel Antarctic krill trawl net with small mesh was developed independently. In April 2015, a 9-day sea trial was carried out in the Antarctic krill fishing ground. The test fishing vessel was “Kaili” from Shanghai Kaichuang Ocean Fisheries Co., Ltd. The sea trial results showed that: 1) When the warp length was less than 230 m, the depth of cod-end was lower than body net, which meant the buoyancy force of cod-end was too large. When the warp length was longer than 230 m, the depth of cod-end and the working depth had a positive relationship. The best buoyancy-weight ratio was suggested to be 1:1.1; 2) No significant correlation was found between the length of the vertical net opening and the length of warp. When the trawl speed was 1.542 m/s, the height of the vertical net opening was 26-29 m and the vertical expansion ratio was 0.11-0.12. As releasing the warp length from 90 to 370 m, the height of the horizontal net opening increased from 14 to 20 m. The expansion ratio was 0.22-0.32. The expansion at vertical and horizontal direction had good effect, which has reached the requirement of design. 3) The comparative analysis of the catch showed no significant difference between the day and night. The average yield per net in the daytime was 33 t and the average yield per net at night was 28 t. The average yield per net in sea trial was 30 t, which increased by nearly 50% compared with other fishing vessels around the same fishing area (according to the statistical records, the average yield per net was about 20 t). The new type of Antarctic krill trawl net has the characteristics of high efficiency and is suitable for the fishing vessels, which can provide a theoretical basis for further independent research and development of the Antarctic krill trawl net.

Keywords: fisheries; design; model structure; Antarctic krill; fishing; trawl; fishing gear; model test