

文章编号: 1000-0615(2019)06-1527-12

DOI: 10.11964/jfc.20171011004

## 网目尺寸对金枪鱼围网沉降性能及网具形态的影响

刘伟<sup>1</sup>, 许柳雄<sup>1,2\*</sup>, 唐浩<sup>1,3</sup>, 胡夫祥<sup>4</sup>,  
周成<sup>5</sup>, 熊沢泰生<sup>6</sup>, 平山完<sup>6</sup>

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

2. 上海海洋大学, 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306;

3. 同济大学海洋与地球科学学院, 上海 200092;

4. 东京海洋大学学术研究院, 日本东京 108-8477;

5. 中国海洋大学水产学院, 山东青岛 266003;

6. 西日本日网公司, 日本下关 140-0002)

**摘要:** 根据以往的研究结果和海上网具性能实测, 并在听取生产第一线船长意见的基础上, 把上海开创远洋渔业有限公司现行金枪鱼围网主网衣下部约三分之一网衣的网目尺寸放大50%, 即从260 mm增大到390 mm, 以探讨改进围网渔具的沉降性能。实验应用田内准则换算并制作成模型网, 在日本下关西日本日网公司专业围网动水槽进行模型试验, 比较了侧流、背流、顺流(流速8 cm/s, 相当实物网0.20 m/s)3种相对流向的放网模式下放网以及无流(0 cm/s)海况下放网, 网目尺寸改变前后围网的沉降性能、网具形态和闭合效果。结果显示, 主网衣下部网目尺寸从30 mm(对照网, 相当于实物网网目尺寸260 mm)放大到45 mm(试验网, 相当于实物网网目尺寸390 mm), 网具的沉降深度和沉降速度分别提高1.6%和1.1%; 试验网的收绞时间比对照网缩短14.3%, 且能保持较好的形态; 有流时的3种放网模式下, 试验网和对照网浮子纲在放网结束时刻的初始包围面积基本相同; 在收绞结束时, 试验网浮子纲包围面积为对照网的1.33倍, 绞纲结束前6 s, 试验网沉子纲包围面积为对照网的1.79倍, 说明增大网目尺寸有利于网具包围面积的增大, 改善了被围鱼群的活动空间。

**关键词:** 金枪鱼围网; 网目尺寸; 模型试验; 网具形态; 沉降性能

**中图分类号:** S 972.21

**文献标志码:** A

围网是捕捞集群性中上层鱼类效率最高的一种渔法<sup>[1]</sup>。金枪鱼围网的作业过程是, 网船围绕鱼群水平放网, 网具在沉降力作用下迅速下沉, 浮子纲浮于水面, 使网具展开形成环形网壁, 将鱼群包围其中, 然后收绞括纲闭合网具底部, 逐步收绞网衣驱使鱼群集中在取鱼部, 从而达到捕捞目的。因此围网包围鱼群后, 下纲快速下沉至最大深度形成网壁, 防止鱼群逃跑, 是决定其捕捞成功率的关键。

围网渔具沉降性能受网具材料、网目尺寸、下纲重量等诸多因素影响。野村正恒<sup>[2]</sup>分别对涤纶(Polyester)、尼龙(Nylon)和克里蒙(Cremona)围网进行测试, 发现涤纶和尼龙围网的沉降速度较克里蒙围网快; Widagdo等<sup>[3]</sup>发现网目尺寸的增大能有效提高围网沉降深度。Hosseini等<sup>[4]</sup>利用数值模拟研究韩国金枪鱼围网网具的沉降性能, 发现主网衣网目尺寸从254 mm分别增大至381和508 mm(即分别增大50%和100%)后, 网具

收稿日期: 2017-11-13 修回日期: 2018-03-20

资助项目: 国家“八六三”高技术研究发展计划(2012AA092302); 上海海洋大学博士科研启动基金(A2-0203-00-100341); 浙江省公益技术研究社会发展项目(2016C33083); 国家自然科学基金(41506151)

通信作者: 许柳雄, E-mail: lxxu@shou.edu.cn

的沉降深度分别增大14%和16%；Kawamoto等<sup>[5]</sup>将主网衣下纲附近13%~27%网衣替换为大网目网衣，发现改进后的围网不仅没有降低目标鱼种的捕获率，而且会减少兼捕渔获。Misund等<sup>[6]</sup>分析海上实测结果发现，增大网目尺寸有利于改善日本鲭(*Scomber japonicus*)围网的沉降性能；许柳雄等<sup>[7]</sup>在千岛湖水域，根据田内准则对1/20尺度比的模型围网进行实验，得出下纲沉降速度随着下纲重量的增加或放网速度的加快而加快；Beltestad等<sup>[8]</sup>研究得出，六角形网目围网的沉降速度比菱形网目围网快，表明围网沉降还与网目结构形状有关；Zhou等<sup>[9]</sup>利用网具模型水槽实验，得出顺流放网时网具的沉降深度最大。

此外，围网渔具在下沉和绞纲的过程中需要保持较大的包围体积供鱼群活动，以减少鱼群因活动空间小容易触碰网壁受惊而从网具下缘或未闭合处逃逸的机会<sup>[10]</sup>。因此，了解网具在捕捞过程中的形态变化以及可能的影响因素，有助于采取相关措施，包括改进捕捞操作，来减少鱼群逃逸机率，对于提高捕捞成功率也十分重要。小長谷庸夫<sup>[11]</sup>发现网具水中包围形态变化与网衣材料线密度有关，并发现沉子越重，网壁就越伸展，包围的体积就越大。Katiandagho等<sup>[12]</sup>根据网具模型试验结果得出：绞收速度与围网底部张开面积的平方根呈线性关系。括纲较长的网具，其底部张开面积缩小速率较快。Zhou等<sup>[9]</sup>通过动水槽模型试验得出，顺流放网时，网具沉/浮子纲包围的面积更大。

虽然上述有关研究表明放大网目尺寸可改善围网网具的沉降性能，但渔民往往担心网目放大后被包围鱼群是否会容易地穿过网目逃逸。其实，从围网捕捞过程可知，一旦开始绞收网具，主网衣下部网衣的网目因受到垂向拉力很快闭合，因此即使这部分网衣的网目尺寸较大，被围鱼群也难以穿过网目逃逸。本研究根据以往的研究结果和海上网具性能实测，并在听取生产第一线船长意见的基础上，将上海开创远洋渔业有限公司金枪鱼围网主网衣下部约三分之一的网衣的网目尺寸由260 mm放大50%至390 mm，通过模型网动水槽实验，探究放大网目尺寸对网具沉降性能(网具沉降速度和深度)和网具形态(沉/浮子纲包围面积和包围形状)的影响，以期为改善我国金枪鱼围网渔具性能提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 原型网

原型网为上海开创远洋渔业有限公司在中西太平洋海域作业的“金汇7号”金枪鱼围网船使用的网具，主尺度为1 637.70 m×321.60 m(网具上纲长度×网具最大拉直高度)，由29区尼龙结节网衣组成。主网衣网目尺寸260 mm，取鱼部90 mm；浮子纲长1 637 m，配纲网衣缩结系数0.8；沉子纲长1 963.70 m，配纲网衣缩结系数0.92；括纲为3 000 m长硬钢丝，跑纲为1 000 m长硬钢丝。共配置119个底环，每个底环空气中重6 kg，相邻两底环间隔16 m。浮子和沉子总重量26 t(空气中重)，配重约13.2 kg/m(图1)。

### 1.2 实验方案

**网目尺寸** 网具主网衣下部约三分之一的网衣由260 mm增大到390 mm，即网目增大50%。网目尺寸390 mm的网衣缩结面积约占整顶围网网衣总缩结面积的12.5%。

**试验水槽** 日本下关西日本日网公司研究开发室循环动水槽，水槽主尺度为10 m×4 m×1.6 m(图3)。水槽侧面和底面均有20 cm×20 cm网格作为标尺。配有放网专用的摆动杆和滑动平台，6台松放和收绞纲索的小型绞机。根据试验水槽和原型网主尺度，确定模型围网的大尺度比： $\lambda = \frac{1}{185}$ 。

**模型网和实物网换算** 本研究采用田内准则制作模型网<sup>[7]</sup>，计算网目特征参数(直径、尺寸)比、速度比和时间比。

网线直径比：

$$\frac{d_M}{d_F} = \frac{1}{6.63} \quad (1)$$

式中， $d_M$ 为模型网网线直径； $d_F$ 为原型网网线直径。

网目尺寸比：

$$\frac{l_M}{l_F} = \frac{1}{8.93} \quad (2)$$

式中， $l_M$ 为模型网网目尺寸； $l_F$ 为原型网网目尺寸。

速度比：

$$\frac{V_M}{V_F} = \left[ \left( \frac{d_M}{d_F} \right)^{1.031} \frac{(\rho_{SM} - \rho_M)}{(\rho_{SF} - \rho_F)} \frac{\rho_F}{\rho_M} \right]^{\frac{1}{1.969}} = \frac{1}{2.35} \quad (3)$$

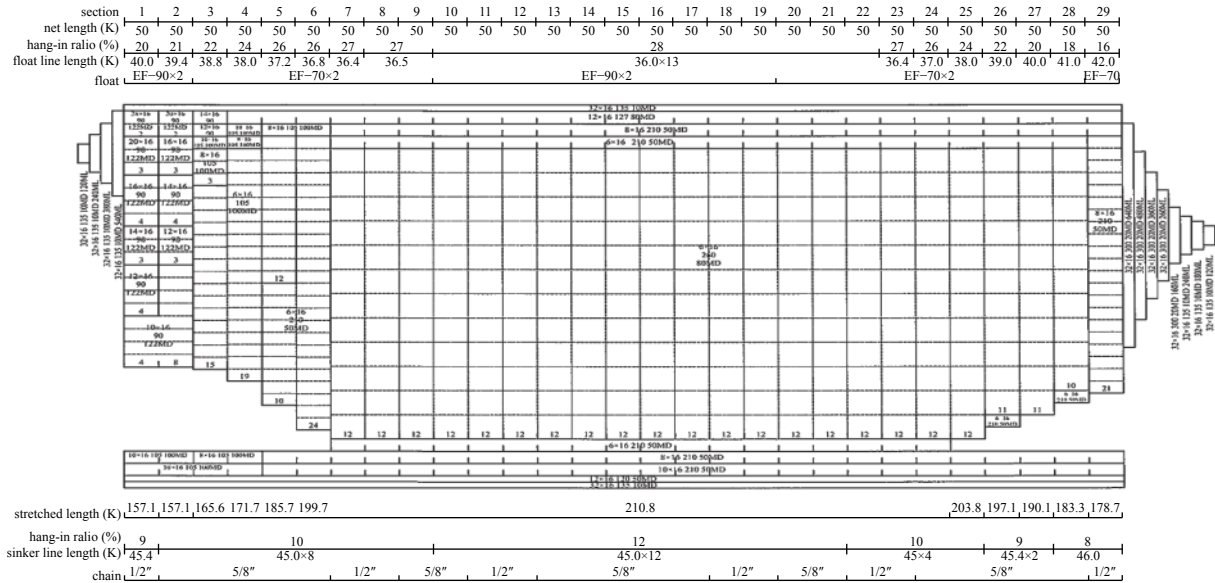


图1 实物金枪鱼围网网具示意图

K是单位长度, 1 K=1.515 m

Fig. 1 Schematic diagram of the prototype commercial tuna purse seine

K: unit of length, 1 K = 1.515 m

其中,  $V_M$ 为模型网速度;  $V_F$ 为原型网速度;  $\rho_{sM}$ 为模型网网线材料密度;  $\rho_{sF}$ 为原型网网线材料密度;  $\rho_M$ 为模型实验流体密度;  $\rho_F$ 为网具生产海域流体密度。

时间比:

$$\frac{t_M}{t_F} = \lambda \sqrt{\left[ \left( \frac{d_M}{d_F} \right)^{1.031} \frac{(\rho_{sM} - \rho_M)}{(\rho_{sF} - \rho_F)} \frac{\rho_F}{\rho_M} \right]^{\frac{1}{1.969}}} = \frac{1}{78.72} \quad (4)$$

式中,  $t_M$ 为模型实验操作时间;  $t_F$ 为实际生产操作时间。

模型实验对照网和试验网 通过式(1)和(2)换算, 模型网主尺度为8.85 m×1.74 m(网具上纲长度×网具最大拉直高度), 主网衣网目尺寸为30 mm和45 mm, 分别对应于原型网网目尺寸260 mm和390 mm(图2)。模型网和原型网网线材料相同, 均为尼龙。为保持刚度相似, 试验网括纲采用尼龙绳<sup>[9]</sup>。

### 1.3 实验流程

起放网操作及数据的记录 模型网通过摆动杆和放置网具的滑动平台实现圆周放网。收绞网具时, 利用4台小型绞机绞收括纲, 2台绞收跑纲。水槽正上方和正前方分别安置摄像机, 同步拍摄放网过程中网形的变化(图3)。

流速设定 中西太平洋金枪鱼围网生产水域通常的海流速度范围为0.20~0.41 m/s。为便于观察, 模型试验的流速参照实际流速0.20 m/s, 设定为8 cm/s。此外, 另设置了流速为0 cm/s, 进行试验。

放网模式设定 共采用4种放网模式, 其中相对水流方向的有3种, 即侧流放网(cross set), 完成放网后网口方向垂直于水流方向; 背流放网(back set), 完成放网后网口方向正对来流方向; 顺流放网(front set), 完成放网后网口方向与水流方向一致<sup>[9]</sup>。此外, 为无流(0 cm/s)条件下放网(图3)。

### 1.4 图像处理

将记录起放网过程的视频以6 s间隔截取图片(图4), 在DeFishr 1.0软件中输入相机参数, 然后对截取的图片进行校正; 应用GetData Graph Digitizer软件, 以水槽侧面及底面的网格作为标尺, 获得相对精确的网具节点空间坐标, 将参数和坐标值导出; 应用Image J软件捕捉图像节点获得面积数据。利用Microsoft Office 2003软件对数据进行处理, 获得不同放网时刻下的网具沉降深度、速度, 包围形状、面积等数据, 用以分析网具性能变化情况。

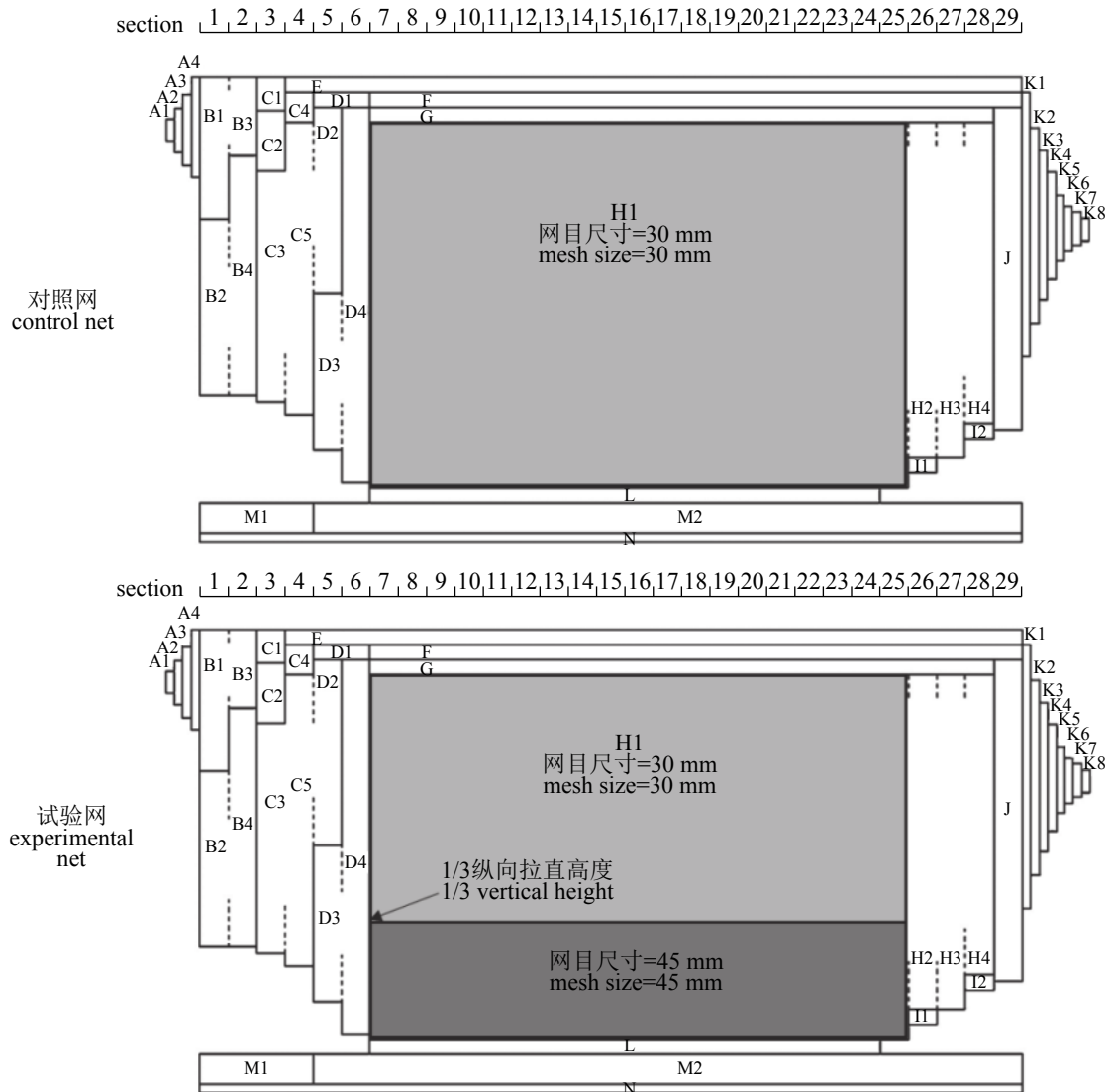


图 2 对照网(上)和试验网(下)结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of model control net (above) and experimental net (below)

## 2 结果

### 2.1 沉降深度

利用图像修正手段解析得出的试验网和对照网沉子纲中点沉降深度随时间的变化关系(图5), 试验网从开始放网到完成收绞共用时54 s, 其中放网用时10 s, 绞网用具用时44 s, 起放网总耗时较对照网(用时60 s)减少了10%。放网开始, 试验网沉子纲中点的沉降深度随时间的增加而增大, 而后逐渐减小。放网至绞网进行14 s时, 沉子纲迅速下沉, 而后沉降深度增加缓慢; 绞网进行32 s时, 沉降深度达到最大。各放网模式下沉子纲的最大沉降值分别为1.36 m (侧流放网)、1.32 m (无流放网)、1.25 m (背流放网)和1.23 m

(顺流放网)。试验网最大沉降深度出现在总用时77.8%时, 对照网出现在70.0%时。试验网最大沉降深度达到网具最大拉直高度的78.2%, 对应实物网沉降深度251.60 m。在背流放网和顺流放网模式下, 试验网的最大沉降深度分别较对照网提高了3.3%和2.5%, 而在侧流放网模式下, 试验网和对照网的最大沉降深度没有差别。无流条件下放网, 试验网最大沉降深度略大于(0.8%)对照网。综合4种放网模式, 试验网最大沉降深度较对照网平均提高1.6%。

### 2.2 沉降速度

无流、侧流与背流放网时, 试验网与对照网最大沉降速度均出现在放网第6 s; 顺流放网时, 试验网与对照网最大沉降速度出现在绞网第2 s。

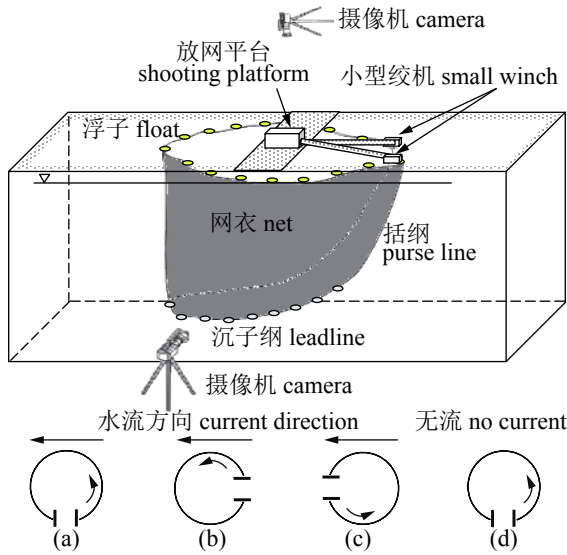


图3 围网模型实验的设置、仪器(上)及4种放网模式(下)示意图

(a)侧流放网; (b)背流放网; (c)顺流放网; (d)无流放网

Fig. 3 Schematic diagram of experimental setting and apparatus for tuna purse seine model testing (above) and four shooting patterns set (blow)

(a) cross set; (b) back set; (c) front set; (d) no current set

绞纲进行14 s时,各放网模式下,试验网和对照网沉降速度变化趋缓,绞纲进行至38 s左右,网具沉降速度小于0,即网具进入提升阶段。试验网沉子纲中点沉降速度最大值分别为0.079 m/s(无流放网)、0.068 m/s(背流放网)、0.067 m/s(侧流放网)、0.059 m/s(顺流放网)(图6)。侧流和顺流放网时,试验网最大沉降速度与对照网相同;无流与背流放网时,试验网最大沉降速度较对照网分别提高2.6%和1.5%。综合4种放网模式,试验网最大沉降速度较对照网平均提高1.1%。

### 2.3 网具形态

根据图像捕获的点进行描绘得到的对照网



和实验网的网具形态(图7),试验网和对照网沉子纲的缩小速率在4种放网模式下都较浮子纲快,其中试验网完成绞收过程用时42 s,比对照网减少14.3%。顺流放网模式下,试验网沉/浮子纲包围区域随绞纲的进行逐渐缩小,且形状被挤压成豌豆状,只不过和对照网相比,被挤压程度要小一些;侧流和无流放网模式下,试验网沉/浮子纲的包围区域形状基本上都呈椭圆形;背流放网模式下,试验网和对照网沉/浮子纲包围区域形状被拉成水滴状,对照网被拉伸的程度更大。总之,和对照网相比,试验网收绞时间更短,在不同放网模式下沉/浮子纲包围区域形状更好一些。

### 2.4 浮、沉子纲包围面积

各放网模式下,试验网浮子纲在放网结束时刻包围面积(初始包围面积)最大,分别为8.57 m<sup>2</sup>(无流放网)、7.94 m<sup>2</sup>(侧流放网)、7.92 m<sup>2</sup>(顺流放网)和7.36 m<sup>2</sup>(背流放网)。之后,浮子纲包围面积随着时间的增加逐渐减小。无流放网时,试验网绞纲结束时刻浮子纲包围面积约为5.0 m<sup>2</sup>,有流放网时约为4.0 m<sup>2</sup>(图8)。试验网浮子纲初始包围面积与对照网基本相同,无流放网,绞纲进行到60%时,试验网浮子纲包围面积逐渐大于对照网;有流放网,绞纲进行到80%时,试验网浮子纲包围面积逐渐大于对照网。绞纲结束时,各放网模式下试验网浮子纲的包围面积平均值为对照网的1.33倍。

试验网沉子纲初始包围面积在顺流、测流、无流和背流放网模式时分别为8.55、8.40、7.92和7.31 m<sup>2</sup>,分别较对照网沉子纲在相应放网模式时减小1.3%、6.0%、8.9%和7.5%(图9)。之后,沉子纲包围面积逐渐减小。绞纲过程进行一半时,试验网沉子纲包围面积逐渐大于对照网,至

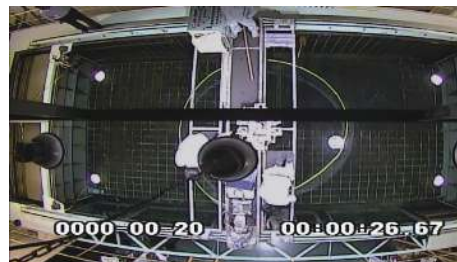


图4 模型试验时水槽正前方和正上方摄像机的拍摄画面

Fig. 4 The camera footages of front view and top view in the model test

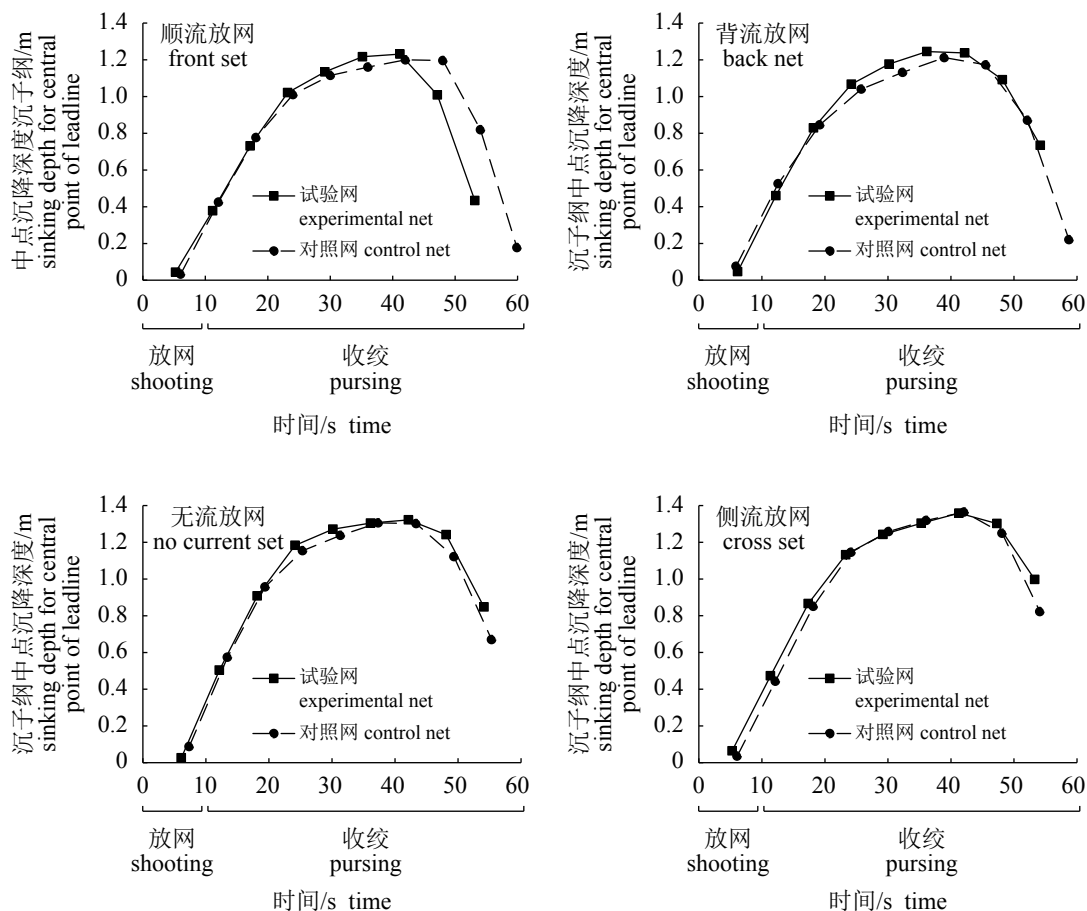


图5 各放网模式下对照网和试验网沉降深度随时间变化

Fig. 5 Change of sinking depth for the central point of leadline with time for control net and experimental net in different shooting patterns

括网收绞结束前6 s, 各放网模式下试验网沉子纲包围面积均保持在 $1.70 \text{ m}^2$ 左右, 约为对照网的1.79倍。

### 3 讨论

#### 3.1 网具沉降性能

本试验网沉子纲中点的沉降深度在3种有流放网模式下均大于对照网(图5), 这与Hosseini等<sup>[4]</sup>和Widagdo等<sup>[3]</sup>得出的网目大的网具沉降深度更大的结论一致。无流时放网, 两顶网(试验网与对照网)沉子纲中点最大沉降深度基本相同, 但试验网沉子纲中点到达最大沉降深度较对照网约快6 s, 其原因可能是, 无流放网时, 网具下沉过程中基本上只受纵向水阻力影响, 而阻力大小则与网片线面积成正比<sup>[13]</sup>。本试验网网目大小较对比网增加了50%, 网线材料和直径相同, 因此相同缩结面积的网衣, 试验网线面积小,

受到的水阻力也小, 所以在相同重量沉子牵引下, 沉降速度要快, 到达最大沉降深度需要的时间则短。试验网在顺流和背流放网时的沉降深度大于对照网, 可能原因是网具沉降到最大深度时受到横向水流冲击影响, 与网具的滤水性有关。侧流放网时, 网具中部网壁与水流方向平行, 处小冲角受流状态, 因此两网沉降深度基本相同。顺流和背流放网, 由于网具中部网壁正面迎流, 会因水流正面冲击形成一定的拱度。和对照网相比, 试验网网目大, 相同缩结面积时线面积小, 网具占空率也较小, 因此网片滤水性较好, 受到的水流冲击力小, 形成的拱度也较小, 沉降深度则较大。

Tang等<sup>[14]</sup>根据海上实测, 得出原型金枪鱼围网标准化后的沉降深度为 $196.02\sim 208.07 \text{ m}$ , 本研究对照网换算成实物网的沉降深度均为 $251.60 \text{ m}$ , 比实测值高出21%左右。两者差异较大的可能原因: 一是受实验水槽尺度限制, 模型网不能完

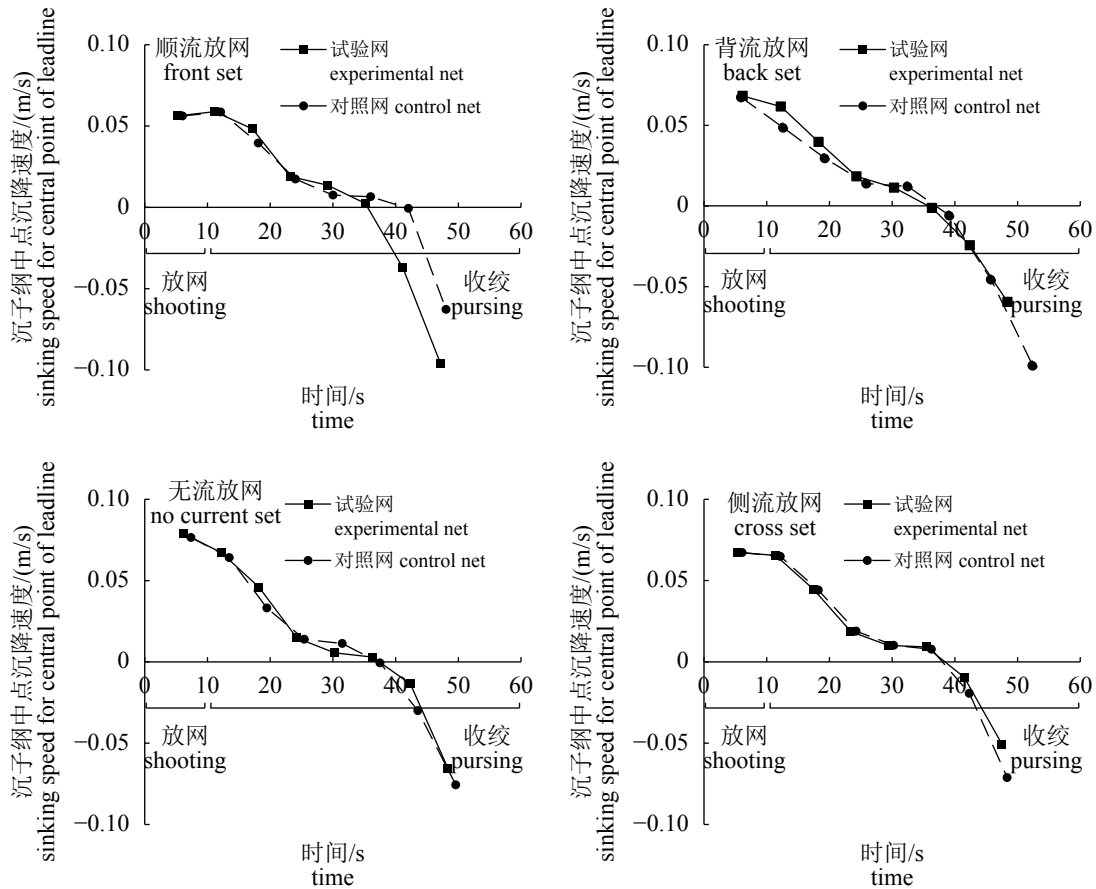


图6 各放网模式下对照网和实验网沉降速度随时间变化

Fig. 6 Change of sinking speed for the central point of leadline with time for control net and experimental net in different shooting patterns

全按照原型网的比例进行制作；二是模型试验的动水槽环境也与实际作业环境存在差异。实际作业表明，在中西太平洋金枪鱼围网作业渔场，130 m水层的流速往往会突然增大，围网沉子纲下沉到该深度后，再往下沉降，受到海流的影响也会越大<sup>[15]</sup>。

静水条件下放网，试验网较对照网沉降深度增加0.8%，与Hosseini等<sup>[4]</sup>采用数值模拟方法获得的结果相差较大。可能的原因：首先，Hosseini等<sup>[4]</sup>所研究的韩国金枪鱼围网网具最大沉降深度为153 m (占最大拉直高度的69.5%)，下纲配重5.27 kg/m，本实验结果换算成实物网网具中部最大沉降深度为251.60 m (占最大拉直高度的78.2%)，下纲配重13 kg/m，相比较而言，韩国网具无论增加配重或增大网目尺寸对网具沉降性能都具有较大提升空间，而中国网具下纲配重为韩国网具的2.5倍，且最大沉降深度已达到网具拉直高度的78.2%，所以通过增大部分网衣网目提高沉

降深度，改善空间较小；其次，韩国网具网目放大部位为全部主网衣(占总网衣缩结面积50%)，本实验仅对主网衣下部三分之一网衣(占总网衣缩结面积12.5%)网目放大，放大部位面积是韩国的1/4；再者，研究方法的不同也会对产生的结果有一定的影响。

沉降速度方面，综合4种放网模式，试验网最大沉降速度较对照网平均提高1.1%，此结果与宋来军等<sup>[16]</sup>的增大网目尺寸可提高沉降速度的研究结论一致。本试验网沉降速度换算成实物网的平均值为0.160 m/s，与Hosseini等<sup>[4]</sup>研究的韩国金枪鱼围网的沉降速度0.140 m/s有一定差异。

### 3.2 网具形态特征

金枪鱼围网主要由网衣构成，网衣属柔性体本身会受海流影响发生形状变化，同时网具形状的改变会致使所受海流作用力的分布改变，带来形状与作用力的相互影响。鉴于渔具的复杂

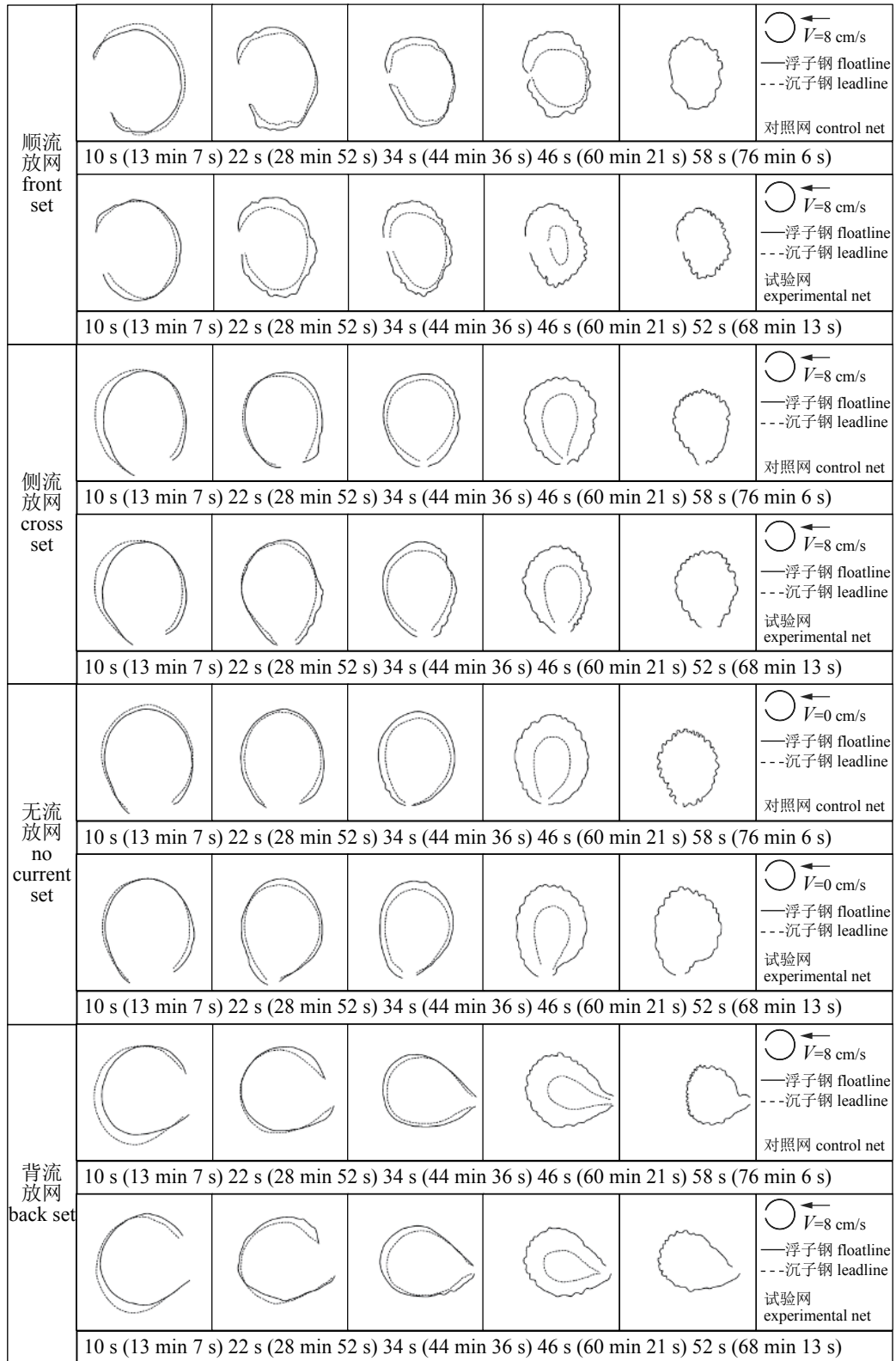


图 7 不同放网模式下对照网和试验网浮、沉子纲在收绞括网阶段的变化形态

括号内为模型实验时间对应的实际时间。最右侧一栏沉子纲聚拢至一点，未画出

**Fig. 7 Shapes transformation of floatline and leadline for control net and experimental net in different purse seine shooting patterns**

The time in parentheses corresponds to the actual time. In the far-right column, the leadline gathered together to a point, not shown



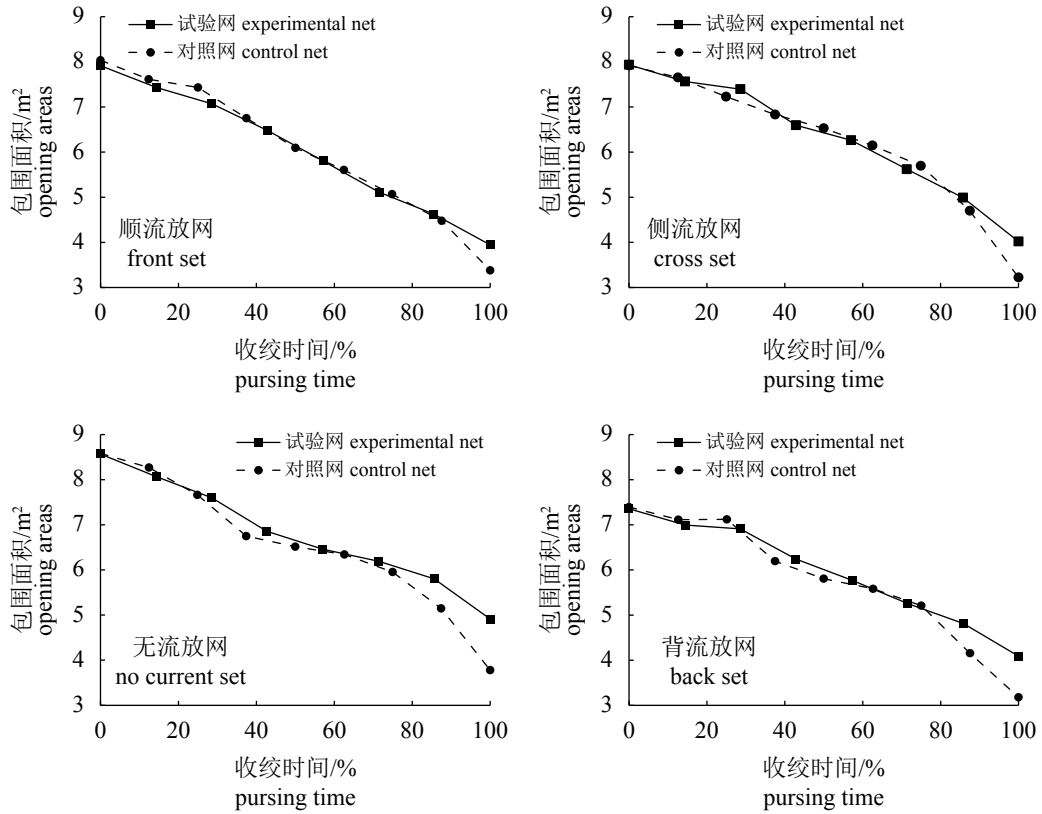


图 8 各放网模式下对照网和实验网浮子纲包围面积随时间变化

Fig. 8 Change of the opening area by floatline with time of the control net and experimental net in different shooting patterns

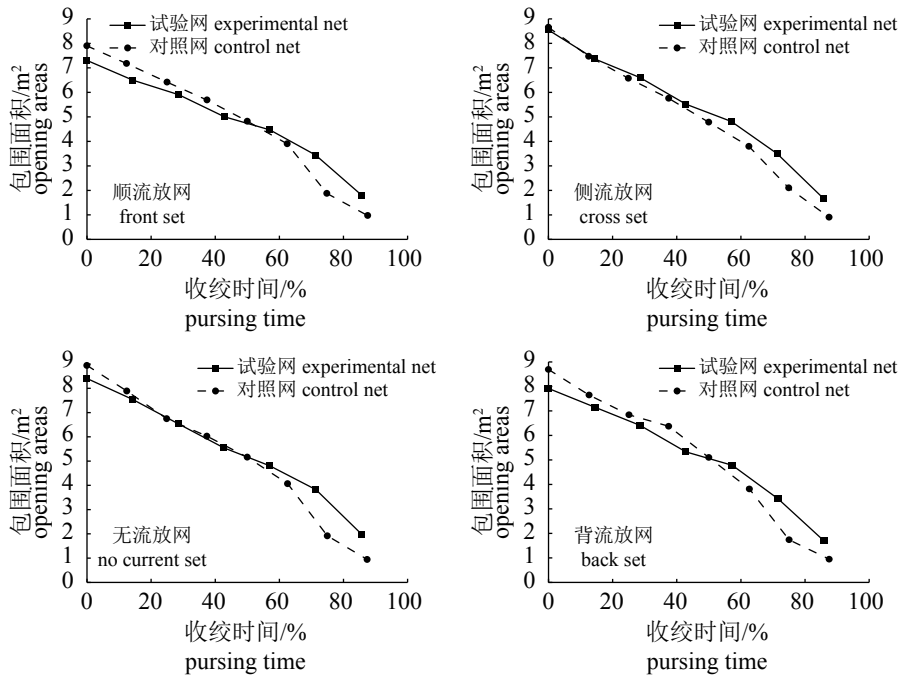


图 9 各放网模式下对照网和实验网沉子纲包围面积随时间变化

Fig. 9 Change of the opening area by leadline with time of the control net and experimental net in different shooting patterns

性, 本实验针对金枪鱼围网在绞纲过程的不同时刻, 描绘了浮子纲与沉子纲的形态变化图。无流放网时, 试验网与对照网的浮子纲和沉子纲自始至终包围形状基本相同, 这可能是, 试验网网目放大区域比例较小, 又处无流放网状态, 因此变化的趋势基本相同; 有流放网时, 试验网与对照网除放网结束时网形基本相同, 之后便存在差异。根据流向的不同, 分析其原因可能是顺流放网, 网具中部的网衣受水流冲击, 致使中部网衣向中心移动, 逐渐呈现豌豆状, 并且由于试验网与对照网主网衣三分之一区域网目大小不同, 线面积大小不一, 导致受力大小存在差异, 试验网网目大, 受水流作用力小, 因此形状较对照网饱满; 侧流放网, 网具主要受水流横向力的影响, 在侧流放网46 s时, 对照网较试验网沉子纲更向左偏移, 主要是受横向力更大引起的; 背流放网情况下, 试验网与对照网主要差异在于, 其受流拉伸程度不同, 试验网网目较大, 被拉伸程度小, 对照网网目较小, 被拉伸程度大。

任一放网模式下, 两顶网浮子纲的初始包围面积基本相同, 对照网沉子纲初始包围面积略大于试验网。原因可能是: 试验网有三分之一主网衣区域网目大于对照网, 此区域所需网线较少, 重量较轻, 而渔船放网要做圆周运动, 致使重量相对较小的试验网离心力较小, 因此包围面积较对照网略小; 围网在作业船上放网时, 网衣并未完全展开, 此时沉子纲与网衣的离心力不会对浮子纲产生拉力, 而两顶网具浮子纲本身重量相同, 离心力相同, 所以浮子纲初始包围面积基本相同。

通过分析两顶网沉/浮子纲包围面积随时间的变化发现: 无流放网时, 试验网与对照网沉子纲包围面积出现差异在绞纲进行约50%时, 浮子纲出现差异在绞纲进行约60%时; 而有流情况下, 试验网与对照网沉子纲包围面积, 在绞纲进行约50%时逐渐产生差异; 浮子纲则在绞纲进行约80%时, 才产生差异。通过对照沉降深度图可以发现, 此时网具基本沉降至最大深度, 沉子纲处同一水平面, 而括纲的收绞会直接影响沉子纲包围面积的减少, 试验网网目尺寸大, 滤水性优于对照网, 因此在绞纲过程中受流影响小, 网形较对照网好, 包围的形状更接近圆, 围捕面积更大。试验网和对照网浮子纲包围面

积产生差异较晚, 原因可能是浮子纲在整个操作过程中始终浮在水面上, 包围形状及包围面积变化主要受风浪和沉子纲与网衣横向拉力的影响, 浮子纲与沉子纲之间由网衣连接, 而网衣属柔性体, 并且网目尺寸放大的区域更靠近沉子纲, 因此试验网与对照网浮子纲包围面积因网目尺寸不同而存在差异会较晚产生。同时流速会延迟因网目尺寸不同而导致浮子纲包围面积产生差异的开始时间。

### 3.3 网具收绞时间及闭合效果

从操作时间方面考虑, 对照网用时58 s完成整个收放过程, 对应实物网为76 min 6 s, 而试验网用时较对照网减少10.3%, 说明适当放大网目可以缩短收绞时间。在各自绞纲进行一半时, 试验网在无流放网时浮子纲包围面积约为6.81 m<sup>2</sup>, 比对照网大3.8%; 试验网沉子纲在绞收一半时, 包围的面积约为4.90 m<sup>2</sup>, 较对照网大5.4%, 这可以说明放大网目围网可以在绞纲过程中给鱼群提供较大的活动区域, 降低鱼群受惊逃跑率。

本实验通过对围网网具的动水槽实验, 掌握了网目尺寸对沉降特性及网具形态在不同放网模式下变动规律的影响: 试验网在沉降特性、收绞时间和网形变化方面表现较对照网网具好, 且沉/浮子纲能在绞纲过程中维持较大的包围面积等。在表述网形变化时, 如果使用体积表达则更为准确, 但由于围网属柔性体, 其体积的计算较为复杂, 同时国内外对围网体积计算尚未有较为统一的公式, 因此本实验采用沉/浮子纲的包围面积进行表述。本实验建议提供一个较为准确的围网网具体积计算公式, 使围网网形变化研究结果表达更为准确合理。

#### 参考文献:

- [1] 孙满昌, 邹晓荣. 海洋渔业技术学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014.  
Sun M C, Zou X R. Marine fishery technology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2014(in Chinese).
- [2] 野村正恒. 最新漁業技術一般[M]. 東京: 成山堂書店, 1994: 10-13.  
Nomura M. The new fisheries general [M]. Tokyo: Seizando-Shoten Publishing Co.Ltd., 1994:10-13(in Japanese).
- [3] Widagdo A, Lee C W, Lee J. Calculating and measuring

- the sinking performance of small-scale purse seine gear in Java, Indonesia, to improve the gear[J]. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 2015, 18(2): 221-227.
- [ 4 ] Hosseini S A, Lee C W, Kim H S, *et al.* The sinking performance of the tuna purse seine gear with large-meshed panels using numerical method[J]. *Fisheries Science*, 2011, 77(4): 503-520.
- [ 5 ] Kawamoto T, Yoshimoto S, Asakawa E, *et al.* Study on the methods to mitigate the bycatch of juvenile bigeye tuna by introducing double-FADs with light stimulus for tuna purse seine fishery in the Western and Central Pacific Ocean[C]. WCPFC-SC8-2012/EB-WP-17, Busan: Kyokuyo Suisan Co., Ltd., 2012.
- [ 6 ] Misund O A, Dickson W, Beltestad A K. Optimization of purse seines by large-meshed sections and low lead weight: theoretical considerations, sinking speed measurements and fishing trials[J]. *Fisheries Research*, 1992, 14(4): 305-317.
- [ 7 ] 许柳雄, 兰光查, 叶旭昌, 等. 下纲重量和放网速度对金枪鱼围网下纲沉降速度的影响[J]. *水产学报*, 2011, 35(10): 1563-1571.
- Xu L X, Lan G C, Ye X C, *et al.* Effect of the leadline weight and net setting speed on sinking speed of the tuna purse seine[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(10): 1563-1571(in Chinese).
- [ 8 ] Beltestad A K. Recent experiments with net of hexagonal meshes in purse seines[R]. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1980.
- [ 9 ] Zhou C, Xu L X, Hu F X, *et al.* The kinetic deformation of tuna purse seine: a model experiment on different shooting patterns at uniform current[J]. *Fisheries Research*, 2015, 169: 18-25.
- [10] Hall M A, Roman A M. Bycatch and non-tuna catch in the tropical tuna purse seine fisheries of the world[R]. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 568. Rome: FAO, 2013.
- [11] 小長谷庸夫. 巾着網の研究-Ⅲ: 沈降力の効果[J]. *日本水産学会誌*, 1971, 37(9): 861-865.
- Konagaya T. Studies on the purse seine-Ⅲ: on the effect of sinkers on the performance of a purse seine[J]. *The Japanese Society of Fisheries Science*, 1971, 37(9): 861-865(in Japanese).
- [12] Katiandagho E M, Imai T. Fundamental studies on the fishing efficiency of purse seine[J]. *Kagoshima University Repository*, 1985, 6(2): 229-247.
- [13] 李灵智, 黄洪亮, 陈帅, 等. 基于静水池模型试验的金枪鱼围网沉降性能研究[J]. *中国海洋大学学报*, 2015, 45(3): 48-53.
- Li L Z, Huang H L, Chen S, *et al.* The sinking performance of tuna purse seine based on model test in tank[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2015, 45(3): 48-53(in Chinese).
- [14] Tang H, Xu L X, Zhou C, *et al.* The effect of environmental variables, gear design and operational parameters on sinking performance of tuna purse seine setting on free-swimming schools[J]. *Fisheries Research*, 2017, 196: 151-159.
- [15] 唐浩, 许柳雄, 王学昉, 等. 金枪鱼围网模型试验结果与海上实测的比较评估[J]. *中国水产科学*, 2013, 20(4): 884-892.
- Tang H, Xu L X, Wang X F, *et al.* Evaluation of tuna purse seine performance between model test and on-sea measurements[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2013, 20(4): 884-892(in Chinese).
- [16] 宋来军, 苏晓飞. 浅谈我国机轮围网网具存在的主要问题及对策[J]. *水产科学*, 2003(6): 32-35.
- Song L J, Su X F. Main problems and countermeasure in Chinese engine-driven purse seine gears[J]. *Fisheries Science*, 2003(6): 32-35(in Chinese).

## Influence of mesh size on sinking performance and the shape of tuna purse seine

LIU Wei<sup>1</sup>, XU Liuxiong<sup>1,2\*</sup>, TANG Hao<sup>1,3</sup>, HU Fuxiang<sup>4</sup>,  
ZHOU Cheng<sup>5</sup>, TAISEI Kumazawa<sup>6</sup>, MAMORU Hirayama<sup>6</sup>

(1. College of Marine Sciences of Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. School of Ocean and Earth Science, Tongji University, Shanghai 200092, China;

4. Faculty of Marine Science, Tokyo University of Marine Science and Technology, Minato, Tokyo 108-8477, Japan;

5. Fishery College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

6. Nichimo Co., Ltd. of Shimonoseki Research Institute, Shimonoseki 140-0002, Japan)

**Abstract:** The net performance of tuna purse seine is influenced by mesh size, leadline weight, flow velocity and other factors. Most of the purse seine fishing vessels in China are used vessels. The age of the vessels is high and the equipment is old. The settling performance of the nets is hardly improved by increasing the weights of the leadline. In order to understand the effect of mesh size on the sinking performance, enclosed effectiveness and net shape, the authors based on our previous research results, net performance measurement at sea and the opinion of the captain, enlarged the mesh size from 260 mm to 390 mm (equivalent to 50%) of the low one third of the main body of the tuna purse seine currently used by the Shanghai Ocean Fishery Co., Ltd. Two model nets with different mesh sizes in the main body were made by the Tauti rule and the comparative tests were conducted through three shooting patterns at 8 cm/s and one at still water in a professional purse seine test tank of Nichimo Co., Ltd. of Shimonoseki Research Institute. The results show that: both the sinking depth and sinking speed of the experimental net with bigger mesh size (45 mm) are greater than that of the control net with smaller mesh size (30 mm)(Sinking depth increased by an average of 1.6%, and sinking speed increased by an average of 1.1%), indicating that increasing the mesh size can improve the sinking performance of purse seine. The pursuing time of the experimental net was 14.3% less than that of the control net, and experimental net also kept a good form. The opening areas surrounded by the floatline at the end of shooting are almost identical for both the experimental net and control net; however, at the end of pursuing, the opening area surrounded by floatline of experimental net was 1.33 times that of the control net and the opening area of the leadline was 1.79 times that of the control net, indicating that the bigger mesh netting can provide bigger areas for fish school swimming.

**Key words:** tuna purse seine; mesh size; model test; net shape; sinking performance

**Corresponding author:** XU Liuxiong. E-mail: lxxu@shou.edu.cn

**Funding projects:** National High Technology Research and Development Program of China (2012AA092302); the Initial Doctoral Funding of Shanghai Ocean University (A2-0203-00-100341); Social Development Project of Zhejiang Public Welfare Technology Research (2016C33083); National Natural Science Foundation of China (41506151)