

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2016.15304

基于模型试验的秋刀鱼舷提网纲索张力性能研究

石永闯¹, 朱清澄^{1,2,3}, 张衍栋¹, 花传祥^{1,2,3}, 周文博¹

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.上海海洋大学 大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室, 上海 201306

摘要: 根据2014年11—12月进行的秋刀鱼(*Cololabis saira*)舷提网静水槽模型试验测定的网具数据, 通过多元线性回归分析了模型网绞收过程中的张力变化, 以及绞网速度和下纲配重与模型网网具张力的关系, 试图研究涤纶材料的模型网网具起网张力性能。试验结果表明: (1)模型网侧纲、下纲的张力在绞网过程中随时间均呈逐渐增加的趋势, 在绞网过程即将结束时张力达到最大值。(2)模型网侧纲、下纲张力均随绞网速度的提高而增加, 并随着绞网速度的提高增速加快, 不同绞网速度组之间张力变化存在显著性差异($P < 0.05$); 当绞网速度在0.12~0.36 m/s之间时, 网具张力变化比较稳定; 绞网速度在0.36~0.60 m/s时网具张力增加的幅度较大。模型网侧纲、下纲张力随下纲配重的增加逐渐提高, 但影响并不显著。

关键词: 秋刀鱼; 舷提网; 纲索张力; 模型试验; 绞网速度; 下纲配重

中图分类号: S973

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2016)03-0704-09

秋刀鱼(*Cololabis saira*)广泛分布于西北太平洋及其沿海海域, 是日本、俄罗斯、韩国、中国等国家重要的捕捞品种之一^[1-3]。秋刀鱼渔业的作业方式主要是用舷提网捕捞^[4-5]。秋刀鱼舷提网捕捞作业起源于日本的千叶县和神奈川地区, 由于操作简便、渔获效率较高, 得到迅速推广^[6-7]。中国大陆从2004年才开始赴西北太平洋海域从事秋刀鱼试捕生产作业, 起步较晚, 对秋刀鱼舷提网的捕捞技术及操作熟悉度不高, 与发达远洋国家相比, 捕捞效率较低^[1]。

近年来, 国内外有关秋刀鱼的研究主要集中在秋刀鱼的生物学特性、资源渔场、趋光特性等, 对秋刀鱼舷提网网具性能、捕捞技术改进的研究较少。秋刀鱼舷提网捕捞作业主要分为放网、诱鱼、起网3个过程^[8]。舷提网主捕鱼种秋刀鱼是大洋洄游性鱼类, 游泳速度快, 行动敏捷, 起网

作业时须快速将侧纲、下纲绞起, 防止鱼群逃逸。舷提网网具在海上作业过程中, 特别是在水流较急的海域, 起网速度比较缓慢, 捕捞此渔场的秋刀鱼较为困难, 舷提网网具能否快速将侧纲、下纲绞起并在尽可能短的时间内将鱼群包围, 成为秋刀鱼舷提网捕捞成败的关键^[9]。因此, 网具的起网性能最能反映整个舷提网的性能, 也是研究舷提网渔具渔法的重要指标。影响起网性能的因素分为内在因素和外在因素, 前者主要包括网具材料、网具结构、下纲配重等; 后者则包括绞网速度、流速、海流等^[10]。

目前, 网具性能研究最为普遍的两种方法是海上实测和模型试验。海上实测虽然能够获得网具在真实工况下的性能指标, 但实测海况条件难以控制, 需耗费大量的人力、物力和财力, 研究成本较高。渔具模型试验是按照有关相似准则, 将

收稿日期: 2015-08-03; 修订日期: 2015-11-22.

基金项目: 国家科技支撑计划(2013BAD13B05); 2014年上海海洋大学大学生创新计划项目.

作者简介: 石永闯(1991-), 男, 硕士研究生, 研究方向为渔具数值模拟. E-mail: 1024731143@qq.com

通信作者: 朱清澄, 教授. E-mail: qczhu@shou.edu.cn

渔具制成按比例缩小的模型, 在模拟相似的作业条件下, 分析模型的受力状况和形状变化, 从而推测实物渔具在实际作业中可能发生的现象。与实物试验相比, 模型试验具有投资少, 并可在人为可控条件下进行系列试验的优点^[11]。由于国内外对不同因素对舷提网起网性能影响的研究较少, 为此本研究根据 2014 年 11—12 月在中国水产科学研究院东海水产研究所开展的秋刀鱼舷提网静水槽模型实验与受力分析结果, 研究分析了模型网绞收过程中的张力变化以及绞网速度和下纲配重对舷提网模型网网具张力的影响, 以便掌握绞网速度、下纲配重与曳纲张力的关系, 以期为舷提网的设计、优化舷提网结构、改进舷提网作业方式提供理论基础。

1 材料与方 法

1.1 模型网设计与制作

1.1.1 模型准则尺度比选择和模型准则 模型试验在东海水产研究所静水槽开展, 根据静水槽尺度: 90 m(长)×6 m(宽)×3 m(深), 即静水槽模型试验最大垂直水深为 3 m, 并结合网具特点确定网具侧纲垂直长度<3 m, 通过综合考虑确定模型网换算大尺度比为 $\lambda=15:1$, 在小尺度比的选择上, 虽然采用实物网网衣尺寸制作模型网是最简便的方法^[16], 但舷提网实物网是由台湾省引进的, 国内生产较困难, 在不影响渔具性能的情况下, 尽可能结合实际生产情况, 最终确定小尺度为 $\lambda'=3:1$ 。

渔具模型试验常用的试验换算准则包括狄克逊准则^[12]、田内准则^[13]、克列斯登生准则^[14]等, 这些准则大多数是针对拖网渔具, 尚未发现专门针对舷提网试验的相应模型准则, 且各个准则均有不同要求, 如田内准则不考虑雷诺数对模型试验的影响, 狄克逊在其拖网试验中, 对大小尺度有所限制($\lambda \leq 8, \lambda' \leq 4$), 而克列斯登准则以弗洛德重力相似定律为基础, 并为保持雷诺数相似, 要求 $\lambda < 10 \sim 15$ ^[15-16], 据研究要同时满足各种模型网和实物网相似条件, 在实际上是不可能的, 而雷诺数相似相对其他条件相似对模型网影响较小, 且本次试验的大尺度比 $\lambda=15:1$, 综合考虑, 选

用田内准则作为本次模型网的制作准则。

1.1.2 实物网特点 实物网为大连国际合作远洋渔业有限公司“国际 908”使用的舷提网, 舷提网形状为长方形, 具体网具规格为 38.3 m(上纲)×41.7 m(侧纲), 上缘纲 38.3 m, 下缘纲 38.3 m, 沉子纲 38.3 m, 侧纲 41.7 m。浮力配备为 19.21 kN, 下纲重量约为 6.076 kN。网衣是由上缘网衣(网目尺寸 30 mm)、主网衣(网衣尺寸 24 mm)、下缘网衣(网衣尺寸 120 mm)、侧网衣(网衣尺寸 30 mm)组成。实物网具体结构见图 1。

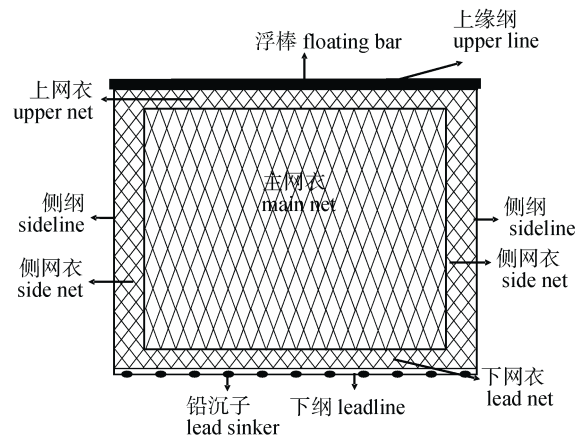


图 1 网具设计示意图

Fig. 1 The schematic diagram of net designing

1.1.3 模型网特点 根据田内准则换算公式(表 1)换算制作模型网, 大尺度比 $\lambda=15:1$, 小尺度比 $\lambda'=3:1$, 根据模型准则和实际情况, 保持模型网和实物网缩结系数相同, 制作的模型网规格为上缘纲 2.6 m, 下缘纲 2.6 m, 沉子纲 2.6 m, 侧纲 2.8 m。浮力配备为 28.46 N, 下纲配重约为 0.353 kg/m。模型网网衣材料和规格如表 2 和图 2 所示。

表 1 田内准则公式
Tab. 1 Tauti's law formula

参数 index	公式 formula
时间比 time scale	$(\lambda/\lambda')^{1/2}$
速度比 velocity scale	$\lambda'^{1/2}$
力的比 force scale	$\lambda^2\lambda'$
纲索直径比 rope diameter	$(\lambda\lambda')^{1/2}$
浮沉子直径比 diameters scale of float and sinker	$(\lambda\lambda')^{1/3}$

表 2 模型网网衣材料和规格
Tab. 2 Netting materials and specifications of model net

网衣材料 netting material	材料标准 material standard	网目尺寸/cm mesh size	网线直径 / mm wire diameter	上纲长度/m headline length	下纲长度/m leadline length	侧纲长度/m sideline length	横向网目数 horizontal mesh number	纵向网目数 vertical mesh number
n 涤纶/PES polyester fiber	PES.210/6	1.50	0.50	2.60	2.60	2.80	960	920

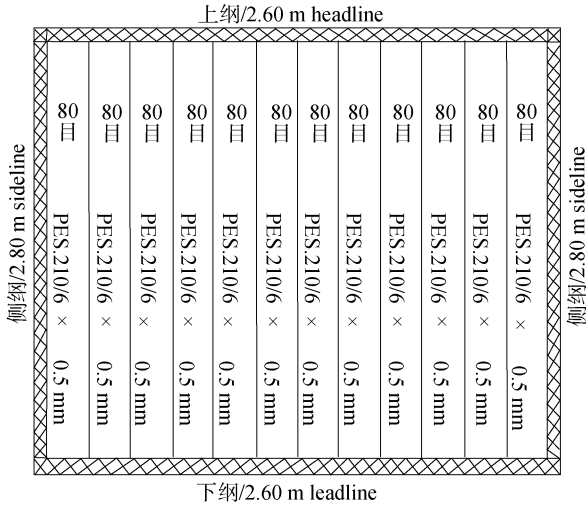


图 2 舷提网模型网网具示意图

Fig. 2 Design of stick-held dip net

1.2 试验地点和试验设备

舷提网模型试验在东海水产研究所静水槽进行, 水槽主尺度: 90 m(长)×6 m(宽)×3 m(深)。舷提网模型网试验装置主要由电动机、圆管、角铁、轴承带座、变频器等组成。其中, 两根圆管用于固定电纲, 起绞网机滚筒的作用; 电动机用于带动圆管转动, 模拟绞网机起网过程; 变频器用于控制绞网速度^[2]。拉力测定使用 JLBM 系列微型小尺寸拉力传感器, 量程为 0~5 kg, 误差±2%。绞网速度用测速仪测定, 精确度 0.01 m/s。模型试验组装如图 3。

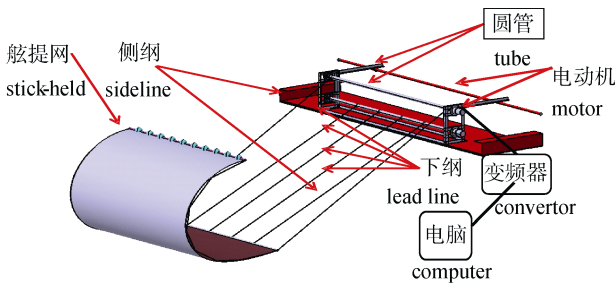


图 3 模型试验装置组装示意图

Fig. 3 Design of model test device

1.3 模型试验

模型试验根据正交试验完全实验方法^[17]进行, 具体实验操作过程如下: 按照实验设计方案安装实验装置和组装网具, 将实验装置固定在静水槽拖车架上, 并连接电源、传感器、模型网等, 进行软件、设备调试与校正; 具体模型试验图见图 4。本研究的主要影响因素为绞网速度和下纲配重^[9, 18], 考虑到按照模型试验准则换算后的模型网下纲重量为 0.353 kg/m, 模型实验时的下纲重量在该基本沉力的基础上增加或减少 10%, 共设 5 个级别: 0.282 kg/m、0.318 kg/m、0.353 kg/m、0.388 kg/m、0.424 kg/m。另一个因素为绞网速度, 调查发现, 秋刀鱼舷提网捕捞作业时浮棒绞车绞网机等的绞网速度在 0.3~0.5 m/s 之间, 大连国际合作远洋渔业有限公司“国际 908”使用的舷提网绞网速度为 0.5 m/s, 因此模型网下纲绞网速度设置为 0.08 m/s、0.15 m/s、0.22 m/s、0.29 m/s、0.36 m/s、0.43 m/s、0.5 m/s(速度间隔 0.07 m/s)7 个水平。根据舷提网网具性能可知侧纲绞网速度要大于下纲绞网速度, 所以模型网侧纲绞网速度设置为 0.12 m/s、0.20 m/s、0.28 m/s、0.36 m/s、0.44 m/s、0.52 m/s、0.60 m/s(速度间隔 0.08 m/s)7 个水平, 每种情况下模型试验做 3 次重复试验。



图 4 试验装置安装示意图

Fig. 4 Schematic diagram of test device

1.4 数据处理

试验中所用的拉压力称重传感器读数频率 4 Hz, 最小读数间隔 1 s, 即每秒读取 4 组数据。根据拉力传感器读取的数据对每组数据求平均值, 用平均值代表对应时间的模型网网具张力值, 分别求出侧纲、下纲绞收过程中各速度组与初始速度组(侧纲 0.36 m/s, 下纲 0.29 m/s)的差异百分比, 来观察各组张力变化差异情况, 侧纲张力差异百分比公式表达为: $C=(T_{V1}-T_{0.36})\times 100\%$, 下纲张力差异百分比公式表达为: $C=(T_{V2}-T_{0.29})\times 100\%$, 其中 T_{V1} 表示侧纲各速度组的张力, $T_{0.29}$ 为初始速度组的张力, T_{V2} 表示下纲各速度组的张力, C 为差异百分比。将张力值结合绞网速度、下纲配重数据的设置使用 SPSS、Excel 等数据统计分析软件处理分别研究与模型网具张力的关系。

2 结果与分析

2.1 模型网绞收过程中张力变化

2.1.1 模型网绞收过程中侧纲的张力变化 图 5 为在初始速度(0.36 m/s)、初始配重下(0.353 kg/m)的涤纶模型网起网试验过程中侧纲张力的变化情况, 虚线每一点为 3 次重复试验每秒的平均侧纲张力。从起网过程来看, 侧纲张力总体上呈稳步增加趋势, 仅在 10 s 和 15 s 时出现较明显的波动。起网过程开始时侧纲张力较小, 张力随时间连续增大, 起网过程即将结束时侧纲张力达到最大值。绞网过程的前 8 s 侧纲张力增加缓慢, 图像斜率较小, 8 s 至起网过程结束侧纲张力增加较快, 图像斜率变大。从开始起网到结束, 整个过程大约需要 16 s。

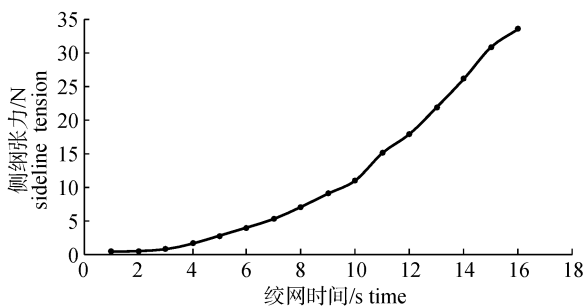


图 5 模型网绞收过程中侧纲的张力变化

Fig. 5 The changes of the tension of the sideline during net-rising

2.1.2 模型网绞收过程中下纲的张力变化 从图 6 可以看出舷提网模型试验过程中下纲张力的变化情况, 与侧纲张力变化情况相似, 开始时下纲张力较小, 并随时间连续增大, 起网过程即将结束时下纲张力达到最大值。绞网过程开始阶段下纲张力增加缓慢, 在图像斜率较小, 在起网开始的 13 s 内下纲张力为 24.32 N, 仅为最大张力(50.2 N)的 48.4%, 13 s 至起网过程结束的 5 s 时间内下纲张力增加较快, 图像斜率变大, 其原因可能为网衣开始处于松弛状态, 网衣阻力较小。从开始起网到结束, 整个过程大约需要 18 s。这比侧纲工程时间长了约 2 s(侧纲速度比下纲速度快)。

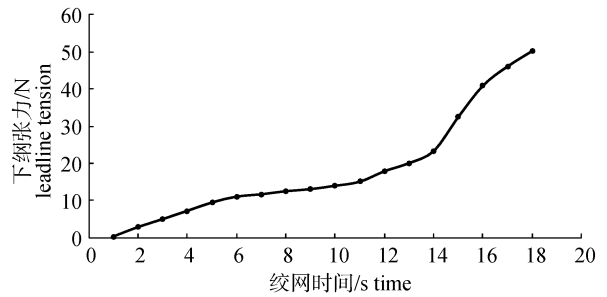


图 6 模型网绞收过程中下纲的张力变化

Fig. 6 The changes of the tension of the leadline during net-rising

2.2 绞网速度与模型网网具张力的关系

2.2.1 绞网速度与模型网侧纲张力的关系 图 7 为绞网速度对模型网侧纲张力影响情况。由图可知, 在同一时间点, 模型网侧纲张力随着绞网速度的增加而逐渐提高, 当绞网速度较低时, 侧纲张力随时间逐渐增长, 但增长的趋势变化较小; 当绞网速度较高时, 侧纲张力随时间有了较大幅度的增加。侧纲张力的最大值出现在绞收过程即将结束的时候, 当速度从 0.12 m/s 增加至 0.60 m/s 时, 绞网过程侧纲最大张力值分别为 3.01 N、5.78 N、11.32 N、24.37 N、33.32 N、37.52 N、44.08 N, 所以, 侧纲最大张力随速度的增加而依次增加。不同绞网速度组之间张力变化存在显著性差异($P<0.05$)。

图 8 为每个速度组的张力与实际初始速度 (0.36 m/s) 组的张力差异百分比变化过程, 由图可知, 当速度小于实际初始速度 0.36 m/s 时, 差异百分比均在 X 轴的下方且比较平稳; 当速度大于实际初始速度时, 差异百分比随着时间的增加依次增加, 速度

越大, 差异百分比增加得越明显。当速度为 0.60 m/s 时, 差异百分比最大值达到 298.19%。

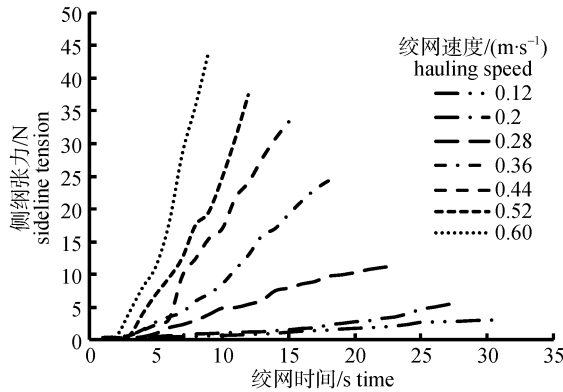


图 7 不同绞网速度下侧纲张力在绞收过程中的变化
Fig. 7 The change of the sideline tension during net-rising at different hauling speed

2.2.2 绞网速度与模型网下纲张力的关系 图 9 为模型网下纲张力与绞网速度的关系, 由图可知, 当绞网速度增加时, 下纲张力逐渐增加, 速度不同, 张力增加的幅度不同, 速度越高, 下纲张力增加得越迅速。与侧纲张力一样, 下纲张力的最大值也出现在绞网过程即将结束时, 当速度从 0.08 m/s 增加至 0.50 m/s 时, 下纲张力的最大值分别为 23.79 N、26.09 N、34.73 N、49.26 N、56.72 N、97.83 N、113.22 N, 故下纲最大张力随速度的增加而增加。绞网速度增加, 绞收所用时间相应减少。与绞网速度对侧纲张力影响过程相比, 由于下纲速度比侧纲速度低, 下纲绞网时间比侧纲绞网时间长, 绞网过程下纲张力比相应的侧纲张力较大。不同绞网速度组之间存在显著性差异($P < 0.05$)。

图 10 为每个速度组的张力与实际初始速度 (0.29 m/s, 模型试验换算) 组的张力差异百分比的变化过程, 从图中可以看出, 低速下差异百分比平稳变化, 当速度低于 0.29 m/s 时, 差异百分比在 X 轴以下, 当速度高于 0.29 m/s 时, 差异百分比增加的程度比较明显。速度为 0.43 m/s 和 0.50 m/s 时, 差异百分比的最大值分别达到 455.78%、606.74%。

2.3 下纲配重与模型网网具张力的关系

2.3.1 下纲配重与模型网侧纲张力的关系 图 11 表示不同下纲配重下, 侧纲张力随时间的变化情况, 由图可知, 侧纲张力均随着时间的增加而呈

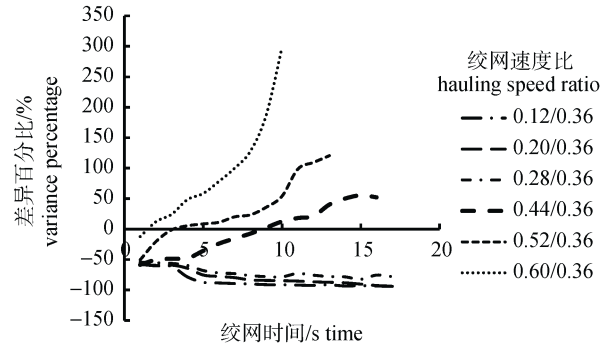


图 8 各绞网速度组与初始速度为 0.36 m/s 的张力差异百分比在绞收过程中的变化

Fig. 8 The change process of the tension variance percentage between different speed teams and original speed team of 0.36 m/s

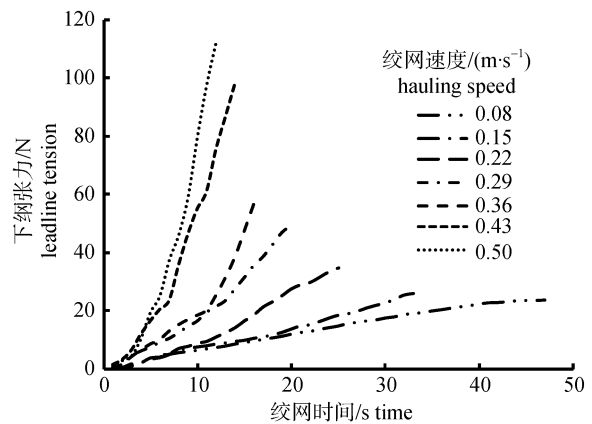


图 9 不同绞网速度下下纲张力在绞收过程中的变化
Fig. 9 The changes of the leadline tension during net-rising at different hauling speed

指数增加。在相同时间下, 下纲配重增加, 侧纲张力也依次增加。但是增加的幅度并不明显, 绞网过程开始的前几秒, 下纲配重的增加对侧纲张力几乎没有影响。当下纲配重从 0.282 kg/m 增加至 0.424 kg/m 时, 侧纲张力最大值分别为 18.43 N、22.12 N、22.43 N、23.54 N、25.43 N, 相差不明显但总体呈现依次增加的趋势。

2.3.2 下纲配重与模型网下纲张力的关系 图 12 为不同下纲配重下下纲张力随时间变化的情况, 与对侧纲张力影响相似, 当下纲配重增加时, 模型网下纲张力依次增加。在相同的时间下除下纲配重为 0.25 kg/m 高于其余组的张力, 其他情况下, 会随下纲配重的增加, 下纲张力会随之增加。当下纲配重从 0.282 kg/m 增加至 0.424 kg/m 时, 下纲张力最大值分别为 48.44 N、51.13 N、50.89 N、51.54 N、

53.45 N。同样除了下除下纲配重为 0.318 kg/m 高于前一组外, 其他组都随下纲配重的增加依次增加。

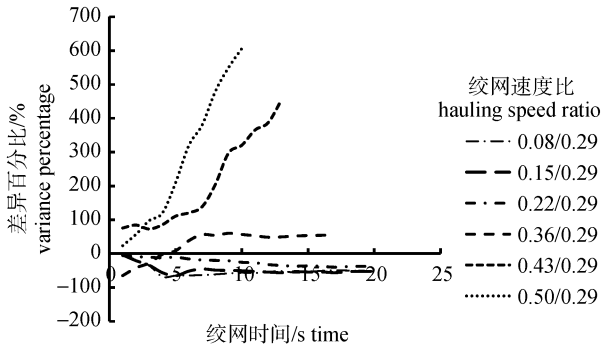


图 10 各速度组与初始速度为 0.29m/s 的张力差异百分比在绞收过程中的变化

Fig. 10 The change process of the tension variance percentage between different speed teams and original speed teams of 0.29 m/s

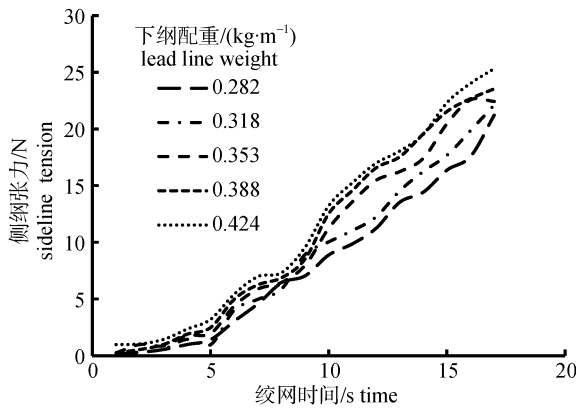


图 11 不同下纲配重下侧纲张力在绞收过程中的变化

Fig. 11 The change of the sideline tension during net-rising at different lead line weight

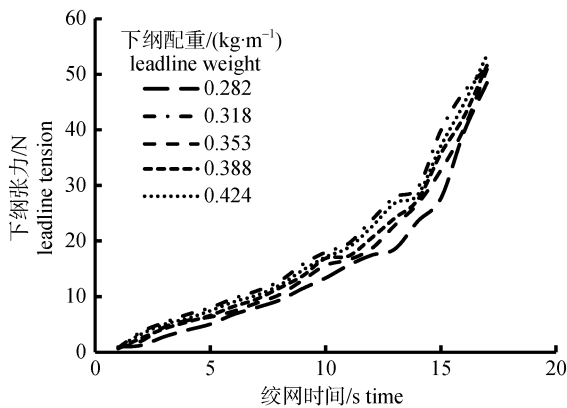


图 12 不同下纲配重下下纲张力在绞收过程中的变化

Fig. 12 The change of the leadline tension during net-rising at different lead line weight

3 讨论

3.1 模型网绞收过程中张力变化

本研究通过对舷提网模型网起网过程中侧纲张力、下纲张力的变化过程的研究发现, 秋刀鱼舷提网模型网侧纲和下纲拉力在起网绞网过程中随绞网时间的变化具有一定的规律和相似性。网具张力均随时间的逐渐增加, 前几秒时变化幅度较小, 然后快速增加, 即起网初期网具张力增加幅度要小于起网后期。到起网过程即将结束时张力达到最大值, 原因是网具离开水面时下纲配重浮力为零, 下纲重力突然增大, 对网具张力产生一定的影响。陆赤等^[19]对机轮围网上纲作业过程中受力进行了研究, 发现在围网放网过程, 网衣由于受水的拖曳张力由零上升到第一个峰值; 在起网过程中, 上纲受力逐渐增大, 当起网过程即将结束时达到最大值。冯维山^[20]通过研究围网下纲的提升性能, 发现围网下纲在收绞括纲过程中张力随时间的增加而不断增大, 提升速度较小时张力变化较为缓慢, 当网具完全展开提升速度加快时张力变化加快。本研究的结论与陆赤和冯维山的研究结果一致。此外, 侧纲张力的增长率的变化是先快速增大然后缓慢减小, 而下纲张力则呈现出先增大再逐渐减小再增大再减小的趋势, 增长率变化差异的具体原因在以后的研究中有待进一步探讨。

3.2 绞网速度和下纲配重对网具张力的影响

根据本次试验结果分析发现, 模型网下纲和侧纲张力均随绞网速度的增加而逐渐增大, 且绞网速度越高张力增长率越大。郁岳峰等^[21]利用“中水 9504”和“中水 9505”探捕船开展深水底拖网渔具渔法试验研究, 发现四片式和六片式网具阻力随拖曳速度的增加不断增大, 并且都呈幂函数关系上升。熊沢泰生等^[22]通过安装网口扩张装置利用修正的田内准则开展拖网模型试验研究渔具性能, 发现, 拖网手纲张力随拖曳速度的增大而不断增加, 并且不同速率比之间的手纲张力不同, 速度较低时, 张力缓慢增加, 速度较高时, 张力

快速增加。这与本研究结果相吻合。当模型网侧纲绞网速度小于 0.36 m/s 时, 差异百分比变化平稳, 当绞网速度大于 0.36 m/s 时, 差异百分比快速提高。即绞网速度小于 0.36 m/s 时, 适当改变绞网速度, 网具张力增大幅度较小, 在网衣所能承受的范围内; 速度大于 0.36 m/s 时, 改变绞网速度网具增大的幅度很大, 当侧纲速度为 0.60 m/s 时差异百分比最大值达到 298.19%, 下纲张力差异百分比最大值更高, 发现绞网速度为 0.36 m/s 时模型网侧纲下纲张力变化有临界值。根据以上结论可以选择在网具所能承受的张力的最大绞网速度, 使舷提网衣迅速被收起, 减少捕捞的空网率, 对网具的优化设计有重要的作用。

下纲配重是影响渔具沉降和起网性能的重要因素^[14]。本研究结果发现, 舷提网模型网的网具张力(侧纲张力和下纲张力)都随下纲配重的增加而逐渐增加。其中, 起网初期下纲配重对侧纲张力影响较小, 对下纲张力的影响除下纲配重为 0.318 kg/m 高于其余组的张力, 其他情况下, 下纲张力会随下纲配重的增加不断增加。而冯维山^[23]研究则认为下纲沉降速度随下纲配重的增加先增加后减少, 许柳雄^[10]则认为下纲配重量和放网速度对下纲沉降速度的交互影响作用不明显, 这与本研究结论存在一定的差异, 具体的原因有待于进一步研究。

3.3 模型试验的问题与展望

渔具模型试验常用的实验换算准则, 例如: 迪克逊准则、田内准则、巴拉诺夫准则等, 基本上都是拖网模型试验换算准则, 尚未发现针对舷提网模型试验的换算准则。本实验采用的田内准则^[24-25]制作模型舷提网是一种尝试。并实际生产情况进行模型网衣制作, 即大尺度比 $\lambda=15:1$, 小尺度 $\lambda'=3:1$ 。

本研究通过自行设计试验装置开展舷提网模型试验, 起网过程中尽量接近实际起网生产作业, 实验结果更有助于客观地研究舷提网在实际生产过程中的性能。但由于本次模型试验在静水槽中开展, 不能完全模拟海上实际生产过程, 不能模拟海流、海风等因素及网衣特性对网具的影响, 由于实验条件和设备的限制, 以致出现个别数据

误差较大的情况, 在以后的试验中会尽量解决以上不足。

参考文献:

- [1] Yin Y, Zhu Q C, Song L M. Improvement measures of the northwest pacific saury separating system[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2011, 20(3): 284-289. [殷远, 朱清澄, 宋利明. 西北太平洋秋刀鱼分鱼系统的改进[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(3): 284-289.]
- [2] Tiana Y, Ueno Y, Suda M. Decadal variability in the abundance of Pacific saury and its response to climatic oceanic regime shifts in the northwestern subtropical Pacific during the last half century[J]. J Mar Syst, 2004(52): 235-257.
- [3] Tian Y J, Akamine T, Suda M. Variations in the abundance of Pacific saury (*Cololabis saira*) from the northwestern Pacific in relation to oceanic-climate changes[J]. Fish Res, 2003, 60(2): 439-454.
- [4] Katsuo H, Shirou S. Fisheries characteristics of stick-held dip net and drift gill net for blue sprat *Spratelloides gracilis* catch[J]. Fish Engineering, 2005, 42(1): 79-86. [長谷川勝男, 鈴木四郎. キビナゴを対象とした棒受網と流刺網の操業比較[J]. 水産工学, 2005, 42(1): 79-86.]
- [5] He B. Present situation and development trend of world fishing equipment technology[J]. World Fish, 2012(5): 43-45. [贺波. 世界渔业捕捞装备技术现状及发展趋势[J]. 世界渔业, 2012(5): 43-45.]
- [6] Zhu Q C, Zhang Y D, Xia H. Comparative study of different saury aggregation light experiment[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2013, 22(5): 778-783. [朱清澄, 张衍栋, 夏辉. 秋刀鱼集鱼灯箱内不同灯位的照度实验比较研究[J]. 上海海洋大学学报, 2013, 22(5): 778-783.]
- [7] Yu Y F, Zhang X, Huang H L, et al. Study on attracting fish method of stick-held net for *Cololabis saira*[J]. Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science, 2006, 25(2): 154-156. [郁岳峰, 张勋, 黄洪亮, 等. 秋刀鱼舷提网集鱼方法的研究[J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2006, 25(2): 154-156.]
- [8] Xu W, Zhu Q C, Zhang X C. Study on the culture technique in the middle stage and the growing character of *Apostichopus japonicus*[J]. Shandong Fishery, 2005, 22(10): 43-46. [许巍, 朱清澄, 张先存. 西北太平洋秋刀鱼舷提网捕捞技术[J]. 齐鲁渔业, 2005, 22(10): 43-46.]
- [9] Zhang X, Yu Y F, Huang H L, et al. The study on designing method of stick-held net for *Colobis saira*[J]. Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science, 2006, 25(1): 40-45. [张勋, 郁岳峰, 黄洪亮, 等. 秋刀鱼舷提网渔具设计的研究[J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2006,

- 25(1): 40-45.]
- [10] Xu L X, Lan G C, Ye X C. Effect of the leadline weight and net setting speed on sinking speed of the tuna purse seine[J]. Journal of Fishery of China, 2011, 35(10): 1565-1571.[许柳雄, 兰光查, 叶旭昌. 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): 1565-1571.]
- [11] Xu L X. The Design and Theory of Fishing Gear[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2004. [许柳雄. 渔具设计与理论[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.]
- [12] Dickson W. The use of model nets as a method of developing trawling gear[J]. Modern Fishing Gear of the World, 1959(1): 166-174.
- [13] Tauti M A. relation between experiments on model and on full scale of fishing net[J]. Bull Jpn Soc Sci Fish, 1934, 3(4): 171-177.
- [14] Konagaya T. Studies on the design of the purse seine[J]. J Fac Fish Prefectural Univ Mie, 1971, 8(3): 209-296.
- [15] Zhou Y Q, Xu L X, He Q Y. Mechanics of Fishing Gear[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2001.[周应祺, 许柳雄, 何其渝. 渔具力学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.]
- [16] Freedman A J. The Design and Theory of Fishing Gear[M]. Beijing: China, Ocean Press, 1988.[弗里德曼 A J. 渔具理论与设计学[M]. 北京: 海洋出版社, 1988.]
- [17] Liu R J, Zhang Y W, Wen C W. Study on the design and analysis methods of orthogonal experiment[J]. Experimental Technology and Management, 2010, 27(9): 52-55. [刘瑞江, 张业旺, 闻崇炜. 正交试验设计和分析方法研究[J]. 实验技术与管理, 2010, 27(9): 52-55.]
- [18] Snedecor G W. Statistical Methods[M]. America: Iowa State University Press, 1982: 507.
- [19] Lu C, Cui J Z. Measurement and analysis of the tension of main lines for purse seine[J]. Journal of Fish of China, 1993, 17(3): 257-261.[陆赤, 崔建章. 机轮围网主要纲索受力测定和分析[J]. 水产学报, 1993, 17(3): 257-261.]
- [20] Feng W S. Research on raising characteristic of purse seine leadline[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 1993, 8(1): 29-36. [冯维山. 围网下纲提升特性研究[J]. 大连水产学院学报, 1993, 8(1): 29-36.]
- [21] Yu Y F, Zhang X, Feng C L. Experiment and research on fishing method for bottom trawl net of otter board trawler[J]. Modern Fish Information, 2008, 23(9): 9-12. [郁岳峰, 张勋, 冯春雷. 单船深水底拖网渔具渔法的试验研究[J]. 现代渔业信息, 2008, 23(9): 9-12.]
- [22] Taisei K, Hu F X, Toshihiro W. Development of a pelagic and mid water trawl with canvas kites[J]. Fish Engineering, 2010, 46(3): 197-204. [熊沢泰生, 胡夫祥, 渡部俊広. カイト式表中層トロール網の開発[J]. 水産工学, 2010, 46(3): 197-204.]
- [23] Feng W S. The experimental research on sinking characteristic of plane netting with different distribution of sinking force on netting[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 1996, 11(4): 35-42. [冯维山. 沉力分布对平面网片沉降特性影响的试验[J]. 大连水产学院学报, 1996, 11(4): 35-42.]
- [24] Kim S J, Imai T, Kikukawa H. An analysis on the sinking characteristics of the weighted netting[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1992, 58(6): 1037-1042.
- [25] Shin J, Imai T, Fuwa S. A model experiment on the characteristics of fishing gear of alampara net[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1998, 64(5): 759-767.

Factors influencing the rope tension of saury stick-held lift nets

SHI Yongchuang¹, ZHU Qingcheng^{1,2,3}, ZHANG Yandong¹, HUA Chuanxiang^{1,2,3}, ZHOU Wenbo¹

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

2. National Engineering Research Center for Pelagic Fishery, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education; Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: We evaluated the influence of haul speed and leadline weight on net tension in *Cololabis saira* stick-held lift nets. Tests were carried out in a water tank using a scale model net in November–December, 2014. The tension on the siderope and leadline of the model net increased with haul time. The tension approached a maximum near the end of the haul. The tension on the model net siderope and leadline increased as the hauling speed increased and the rate of increase in net speed accelerated as the hauling speed increased. The hauling speed at 0.36–0.60 m/s had a significant effect on rope tension ($P<0.05$), while at hauling speed of 0.12–0.36 m/s, the change in rope tension was stable. The tension in the model net sideline and the leadline increased when the leadline weight increased, though there was no effect on rope tension. Our observations provide insight into ways to improve rope tension performance and a reference for fishing operations.

Key words: *Cololabis saira*; stick-held net; rope tension; model test; hauling speed; leadline weight

Corresponding author: ZHU Qingcheng. E-mail: qczhu@shou.edu.cn