

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2015.14253

基于网具模型试验的金枪鱼围网性能分析

唐浩¹, 许柳雄^{1, 2, 3, 4}, 王学昉¹, 周成¹, 朱国平^{1, 2, 3, 4}

1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306;
2. 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;
4. 上海市远洋渔业协同创新中心, 上海 201306

摘要: 模型试验根据田内准则, 选择大小尺度比分别为: $\lambda=20:1$, $\lambda'=1:1$, 制作的模型网规格为: 网衣长 109 m, 网高 15.6 m, 上纲 80.9 m, 下纲 98 m, 下纲基本重量为 0.663 kg/m, 浮力配备 25 N/m, 模型网和实物网的缩结系数相同。试验结果显示, 围网中部下纲沉降深度(D)和时间(t)的关系: $D=-0.0014t^2+0.276t-0.6476(R^2=0.9953)$; 下纲重量对沉降性能有显著影响, 而放网速度对沉降性能的影响并不显著, 但两者交互项对沉降深度有显著影响; 在 0.531~0.663 kg/m 的范围内, 随下纲重量增加, 沉降深度呈大幅度增加趋势, 而沉降速度呈递减趋势; 在 0.663~0.759 kg/m 范围内, 沉降深度小幅度递减, 而沉降速度大幅度提高。当下纲重量为 0.663 kg/m 时, 沉降速度随放网速度的增加而增加; 随着沉降时间的增加, 下纲张力在 0~20 s 范围内波动较大, 之后保持一定的平稳状态。本研究通过对金枪鱼围网模型网制作的分析与探讨, 旨在更好地通过模型试验研究金枪鱼围网网具性能。

关键词: 金枪鱼围网; 下纲重量; 沉降性能; 放网速度; 网具模型试验

中图分类号: S972.1

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2015)03-0563-11

海上实测是最为精确地反映实际作业环境中网具性能的方法, 而模型试验不仅能够在模拟环境条件下测量网具的参数^[1-2], 而且可为网具设计提供技术支撑。目前, 不同作业方式的网具模型试验所选用的相似准则也有所不同, 如拖网主要以田内准则进行换算, 虽说至今为止尚未有统一的准则进行围网模型网制作, 但对围网模型试验的研究已经较为深入^[3-5]。

模型试验一直是渔具优化设计的重要环节, 也是研究围网性能的主要方法。开展模型试验的关键在于模型网具的制作是否合理, 为此各国学者先后提出了若干网具模型试验的相似准则, 主要以田内准则和狄克逊准则为主^[6]。考虑到围网网具作业特性, 在制作模型网时应对模型准则做

适当的调整, 使得模型网具试验尽可能地接近实际情况。在多数围网模型试验中, 模型网基本上是采用大尺度比进行制作。也有部分学者只采用了简单的矩形网片代替模型网进行试验, 研究围网网具的沉降性能, 如冯维山等^[7-9]即采用这种方式从网片的网目、载荷、沉子等角度, 在理论上初步分析了影响围网沉降性能的因子。无论是网片模型试验还是围网模型试验, 都要通过对不同因素的调节进行网具沉降性能研究, 从而最终为实物网的改进提供参考依据。

由于金枪鱼围网网具规格较大, 且国内外进行围网模型试验选取的大尺度比均较大, 有些达到 100:1 以上^[10]。大比例缩小原型网进行制作的模型网结构较简单, 较难体现出围网的整个作业过程。本

收稿日期: 2014-06-10; 修订日期: 2014-08-02.

基金项目: 国家 863 计划项目(2012AA092302).

作者简介: 唐浩(1988-), 男, 博士研究生, 主要从事渔具渔法研究. E-mail: tanghao812@126.com

通信作者: 许柳雄, 教授, 主要从事远洋渔业资源开发和渔具渔法研究. E-mail: lxxu@shou.edu.cn

研究在结合已有模型网具研究的基础上^[11-12],采用田内准则探讨大尺度比为 20:1 和主网衣为原型网衣的金枪鱼围网模型网的制作,同时对模型网试验结果进行初步分析,旨在更好地研究和改进金枪鱼围网作业性能,并为学者们了解大型金枪鱼围网模型网制作过程和试验方案提供参考资料。

1 材料方法

1.1 模型网制作

1.1.1 田内准则尺度比选取 模型试验地点选在浙江千岛湖,水深约 34 m。对试验所用船只进行了性能的比对分析,最终选用了 3 艘船进行试验,其中一艘船长 8 m,主机功率 3.68 kW,作为母船;一艘长 5 m,主机功率 2.2 kW 的雅马哈挂机船为辅助船;一艘长约 6 m 的无动力辅助船作为放网平台^[6]。通过综合考虑,模型网大尺度比定为 20:1。由于网衣是柔性体,为了保持网线的抗弯刚度特性,又考虑到采用实物网网衣制作模型网最能反映实物网性能,故小尺度比选为 1:1,即采用实物网的网衣制作模型网网衣,在材料选取和制作工艺上十分方便^[10, 15]。田内准则具体换算如表 1 所示。

1.1.2 实物网和模型网的特点 实物网的网具

表 1 田内准则
Tab. 1 Tauti's law

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 scale	$(\lambda\lambda')^{1/2}$
浮沉子直径比 diameters scale of float and sinker	$(\lambda\lambda')^{1/3}$

规格为 1 664.5 m×311.1m,浮子纲长 1 664.5 m,沉子纲长 1 808.9 m,浮力配备约 809 kN,下纲重量约为 26 t,网衣分为主网衣和取鱼部两部分,均采用尼龙有节网片缝制而成,主网衣网目尺寸 260 mm,取鱼部网目尺寸 90 mm^[4, 6]。具体结构见图 1 和表 2。

根据田内准则换算并制作模型网,大尺度比选为 $\lambda=20:1$,小尺度比为 $\lambda'=1:1$ 。根据模型准则和实际情况,在部分网具构造中,采取简化方式制作,同时保持模型网和实物网的缩结系数相同^[6, 17]。制作的模型围网网衣长为 109m,网高为 15.6 m,上纲为 80.9 m,下纲为 98 m,下纲基本重量为 0.663 kg/m,浮力配备 25 N/m^[17]。

1.1.3 模型网制作简化 模型网主要网衣规格的确定:经田内准则换算后,发现网具部分结构出现纵向目为半目的情况,如图 1 中的 B、Q、V 等

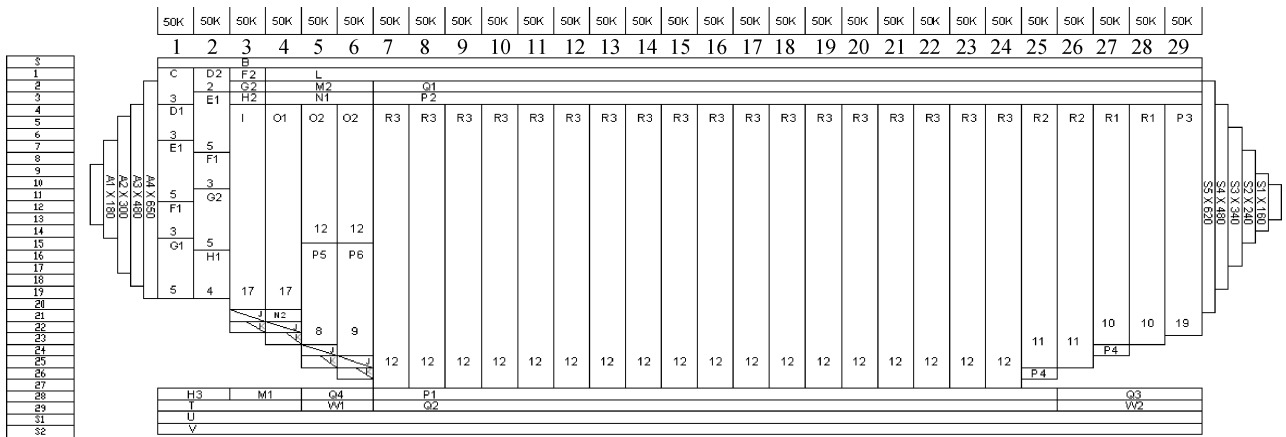


表 2 金枪鱼围网各部分构造
Tab.2 Section specifications of tuna purse seine

网具部位 section	材料 netting material	网线规格 specification of twine	网目大小/mm mesh size	网片尺寸(横向目数×纵向目数) dimension of netting (T×N)
A1	PA	32×16	127	120×180
A2	PA	32×16	127	120×300
A3	PA	32×16	127	120×480
A4	PA	32×16	127	120×650
B	PA	32×16	135	16270×10
C	PA	20×16	90	(840×122)×3
D1	PA	16×16	90	(840×122)×3
D2	PA	16×16	90	(840×122)×2
E	PA	14×16	90	(840×122)×10
F1	PA	12×16	90	(840×122)×6
F2	PA	12×16	90	840×122
G1	PA	10×16	90	(840×122)×10
G2	PA	10×16	90	840×122
H1	PA	8×16	90	(840×122)×4
H2	PA	8×16	90	840×122
I	PA	6×16	105	(720×122)×17
J	PA	6×16	105	(720×100) ×4
K	PA	6×16	105	(720×100)×4
L	PA	12×16	127	15500×85
M1	PA	8×16	105	1440×100
M2	PA	8×16	105	2160×100
N1	PA	6×16	105	2160×100
N2	PA	6×16	105	720×100
O1	PA	5×16	105	(720×122) ×17
O2	PA	5×16	105	(720×100) ×24
P1	PA	6×16	210	6850×50
P2	PA	6×16	210	8296×50
P3	PA	6×16	210	(360×80) ×10
P4	PA	6×16	210	(360×50) ×2
P5	PA	6×16	210	(360×50) ×8
P6	PA	6×16	210	(360×50) ×9
Q1	PA	8×16	210	8300×50
Q2	PA	8×16	210	6850×50
Q3	PA	8×16	210	1440×50
Q4	PA	8×16	210	720×50
R1	PA	6×16	260	(580×80) ×20
R2	PA	6×16	260	(580×80) ×22
R3	PA	6×16	260	(580×80) ×216
S1	PA	32×16	300	100×160
S2	PA	32×16	300	100×240
S3	PA	32×16	300	100×340
S4	PA	32×16	300	100×480
S5	PA	32×16	300	100×620
T	PA	10×16	105	2880×100
U	PA	12×16	120	18300×50
V	PA	24×16	135	16270×10
W1	PA	10×16	210	720×50
W2	PA	10×16	210	1440×50

注: PA 表示尼龙; A1, A2, A3, A4 表示前网头; B, C, D1, D2, E, F1, F2, G1, G2, H1, H2 为取鱼部; I, J, K, L, M1, M2, N1, N2, O1, O2, P1, P2, P3, P4, P5, P6, Q1, Q2, Q3, Q4, R1, R2, R3, R4, T, U, V, W1, W2 为主网衣; S1, S2, S3, S4, S5 表示后网头。

Note: PA is nylon or polyamide; A1, A2, A3, A4 represent the front wing end; B, C, D1, D2, E, F1, F2, G1, G2, H1, H2 represent bunt; I, J, K, L, M1, M2, N1, N2, O1, O2, P1, P2, P3, P4, P5, P6, Q1, Q2, Q3, Q4, R1, R2, R3, R4, T, U, V, W1, W2 represent main body; S1, S2, S3, S4, S5 represent the back wing end.

区域均出现类似情况。因此,在制作模型网过程中部分网具结构采取简化^[6, 18]。由于 O、Q 和 R 这三部分网衣占实物网网衣的比重较大(74%),且 I、M 和 P 部分网衣与以上三部分网衣相似,它们共占实物网网衣的 87%,为简化模型网制作,采取 O、Q 和 R 三部分网衣作为模型网的网衣使用,这既能使模型网和实物网保持绝大部分相似,又能简化制作过程^[18],模型网结构图见图 2 和表 3。

钢索的简化制作:实物网上纲绳和浮子纲绳的材料均为尼龙(PA),直径分别为 40 mm 和 20 mm,

换算后的直径分别为 12.6 mm 和 6.3 mm^[6]。由于材料的可选性,在实际制作模型网时,上纲绳和浮子纲绳直径分别为 14 mm 和 8 mm;实物网的下纲主要由铁链构成,其规格主要由直径为 19 mm 和 22 mm 的铁链组合而成,换算后下纲铁链直径应为 6.0 mm 和 6.9 mm。由于下纲重量是影响围网沉降性能的主要因素^[7-9],本次模型试验需测试不同下纲重量对围网性能的影响,依据模型试验设计,选定 52 kg(0.531 kg/m)为最低下纲重量水平,方便在试验过程中增加重量进行测试^[6]。根据下纲重量最低为 52 kg 的要求(标准重量 80%),

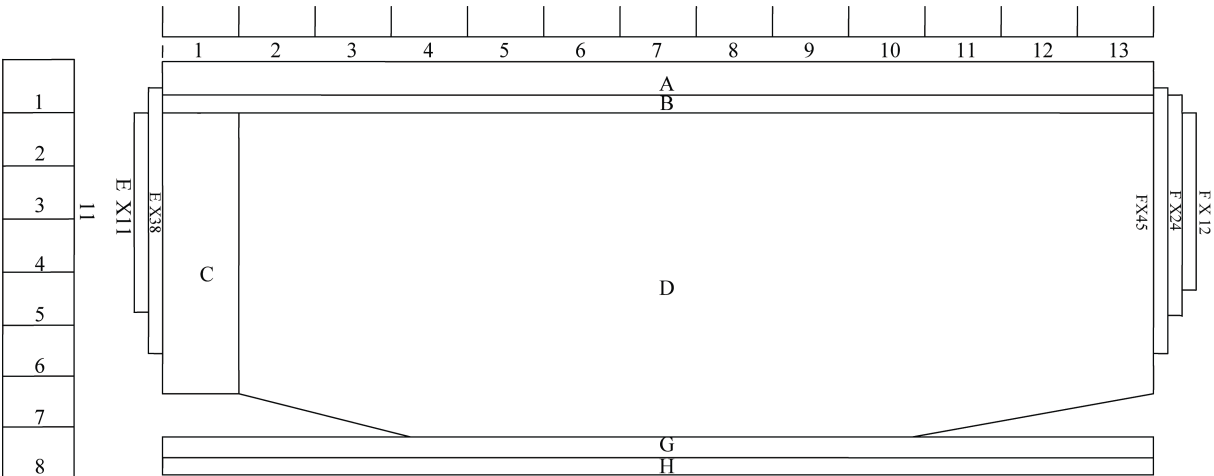


图 2 大型金枪鱼围网模型网示意图(模型网 实物网=1 20)
Fig. 2 Sketch map of model tuna purse seine (model net full-scale net=1 20)

表 3 金枪鱼围网模型网各部分构造(对照图 2)
Tab.3 Specifications of corresponding sections (referring to fig.2)

网具部位 section of model purse seine	材料 netting material	网线规格 specification of twine	网目大小/mm mesh size	网片尺寸(横项目数×纵向目数) dimension of netting (T×N)
A	PA	5×16	105	1038×16
B	PA	8×16	210	519×5
C	PA	5×16	105	80×90
D	PA	6×16	260	387×46
E	PA	5×16	105	15×38, 14×11
F	PA	8×16	210	12×45, 12×24, 12×12
G	PA	8×16	210	519×5
H	PA	5×16	105	1038×6
上纲 top rope	PA 绳, 直径 14 mm, 80 m nylonor polyamide rope, diameter 14 mm, 80m			
浮子纲 float line	PA 绳, 直径 8 mm, 80 m nylonor polyamide rope, diameter 8 mm, 80m			
下纲 lead line	铁链, 规格 3 mm, 48 m; 5 mm, 50 m iron chain, 3 mm, 48 mm; 5 mm, 50 m			
括纲 purse line	PVD 绳, 直径 16 mm, 200 m PVD rope, diameter 16 mm, 200 m			

相应的铁链直径为 3 mm 和 5 mm。

其他属具的制作简化: 实物网括纲直径为 29 mm 的硬钢丝, 经换算后模型网括纲直径为 9.2 mm 的硬钢丝, 这在材料的获取及试验操作性上不切合实际, 故采用日本进口的直径为 16 mm 的绳索替代^[6]。

1.1.4 制作材料和方法 主网衣制作: 材料选用原型网的网衣材料, 共 3 种规格, 具体规格见表 2。模型网的主网衣由 A、B、C、D、G 和 H 部分组成^[17-18], 具体规格见表 3。不同组成部分主网衣的网片缝合采用双线半目绕缝方式, 对应各部位的缝合比分别为 A:B=2:1(单位为目, 下同), B:C=1:2, B:D=5:4, C:D=5:2, D:G=4:5, G:H=1:2, C:G=2:1。其中 D 部网衣下方左右两边需进行裁剪的规格为: 左边纵向网目数 10 目, 横向网目数 56 目; 右边纵向网目数 10 目, 横向网目数 72 目^[6]。

网头制作: 前网头贴近主网衣一侧的纵向目数为 38 目, 另一侧则为 11 目, 横向网目为 29 目(图 2 E 部)。上纲和下纲制作与主网衣一致, 在网头的一侧结合, 最终形成上纲为 2 m, 下纲为 3 m, 网高为 11 目, 一侧为 0 m, 整个网头为三角形, 与实物网近似^[6]。后网头贴近主网衣一侧的纵向目数为 45 目, 另一侧则为 12 目, 横向网目为 36 目(图 2 E 部)。上纲和下纲制作和主网衣一致, 在网头的一侧结合, 最终形成上纲为 2 m, 下纲为 4 m, 网高为 12 目, 一侧为 0 m, 整个网头为三角形。

浮子选取: 通过换算和实际情况, 采用两种规格浮子, 一种为圆柱形, 长 160 mm, 直径 123 mm, 孔径 33 mm; 一种为球形浮子, 直径 87 mm, 孔径 24 mm^[6]。

下纲和副链制作: 采用 3 种铁链, 规格分别为 3 mm、4 mm、5 mm。下纲铁链采用 3 mm 和 5 mm 两种规格组成, 每 5 m 为 1 段, 共 20 段, 每种规格 10 段, 3 mm 规格的铁链中, 有一段只有 3 m, 下纲总长 98 m; 副链用 4 mm 铁链制作而成, 每根 4 m, 共 14 根, 铁链副链两端间隔 2 m, 两副链间间隔为 5 m, 两端副链距模型网两端为 6.5 m^[6]。

底环: 底环为圆形钢环, 钢环直径 10 mm, 整个圆形钢环外直径为 120 mm。

网具各部分连接: 上纲与网衣连接以及下纲与网衣连接, 均采用一个水扣对应 A 或 H 部分网衣 2 个网目, 采用半目绕缝方式连接, 每个网目绕线 4 次^[6]。网头与网衣连接: 网头上下纲和主网衣上下纲的绳端连接起来, 中间网衣进缝合, 其中, 前网头与主网衣的缝合比为 36:119, 后网头与主网衣的缝合比为 47:54, 均采用半目绕缝方式。纲绳制作和其他模型网制作方法参照兰光查^[6]研究内容。

1.2 模型试验

模型试验地点选在浙江省淳安县千岛湖, 该湖作为试验场所的原因: 平均水深能够满足模型网沉降深度范围; 湖面开阔且浪小无流^[17-18]。起放网所需的船只由千岛湖捕鱼大队提供, 母船 A 船长 8 m, 主机功率 3.68 kW; 辅助船 B(即海上作业的大艇)长 5 m, 主机功率 2.2 kW 的雅马哈挂机船; 一艘长约 6 m 的无动力辅助船 C 作为放网平台^[6]。网衣堆放在 C 船上, 由 B 船牵引取鱼部保持航速和方向, 然后由 A 船进行包围运动, 实施模型试验, 具体试验操作过程如图 3。

放网前, 把 10 个微型测深仪(RBR DR-1050)以下纲中部为基准, 均匀固定在下纲底部(图 3), 用以记录模型网的沉降深度及沉降时间, 其中编号为 5[#]的测深仪测定模型网中部的沉降数据, 并用秒表记录放网时间^[17]。下纲张力测试方面, 在辅助船只的船头放置固定下纲纲索的装置, 一头连接张力仪, 由张力仪连接下纲纲绳, 并使下纲绳索的一头及张力仪固定在船头, 防止因船只晃动而产生张力的变化, 并用摄像机拍摄整个放网过程的张力变化。放网速度主要通过上纲长度和放网时间进行控制, 本研究把上纲所放长度设置成相同, 只需通过对放网时间的把控达到变化放网速度的效果。

本次模型试验设计按照双因素影响沉降性能的方法进行, 其中一种因素为下纲重量, 本次试验共配备了 0.531 kg/m、0.597 kg/m、0.663 kg/m、0.729 kg/m 和 0.795 kg/m 5 种水平的沉子纲, 其中 0.663 kg/m 的沉子纲对应实物网的载荷配备^[6, 17-18]。另外一种因素为放网速度, 根据模型网上纲长度

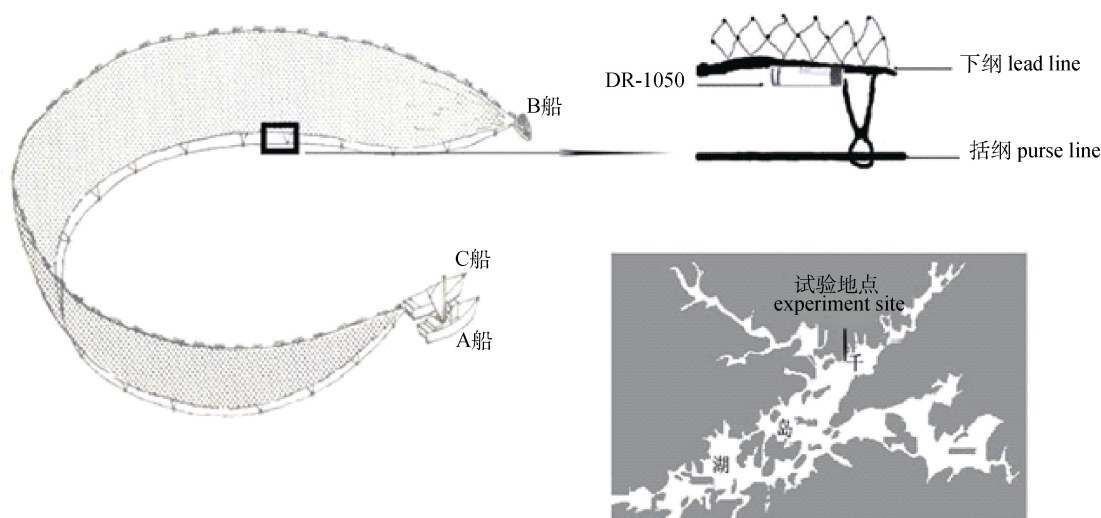


图 3 金枪鱼围网模型试验操作示意图(引自 Kongagaya^[16]和兰光查^[6])

Fig.3 Schematic diagram of tuna purse seine model experiment (cited from Kongagaya^[16]and Lan^[6])

与记录的放网时间,把放网速度分为 3 个水平(0.9 m/s, 1.2 m/s, 1.5 m/s),每种情况下重复试验 3 次,模型试验共进行 45 网次。

1.3 数据处理

以 DR-1050 温深仪的数据为准,通过记录不同网次的时间、放网速度、下纲重量、放网时间等数据,对应不同网次的有效开始时间、结束时间和下纲沉降的最大深度,同时计算此沉降过程中的平均沉降速度,并以下纲沉降的最大深度和平均沉降速度代表围网沉降性的指标^[17-18]。其中,网具开始入水及结束时刻主要以 DR-1050 中压力数据的变化进行判别,网具在未入水之前,压力变化处于一定稳定范围,入水后随着水深的增大,压力在不断增大,由此来判别网具入水时刻与达到最大沉降深度时刻以及结束时刻。另外,对记录下纲张力变化的视频进行处理,分析下纲张力随放网时间的变化趋势。

本研究采用广义线性模型(generalized linear model, GLM)分析下纲重量和放网速度对网具沉降性能的影响,GLM 表达式为:

$$Y \sim \text{factor}(V_0) + \text{factor}(W) + \text{factor}(V_0): \text{factor}(W) + \varepsilon \quad (1)$$

式中, Y 为下纲最大沉降深度(D)或下纲平均沉降速度(S); V_0 为放网速度; W 为下纲重量; factor 为类别变量的函数; ε 表示残差, $E(\varepsilon)=0$, $\varepsilon \sim \sigma^2$, 符合

正态分布。

2 结果与分析

2.1 下纲中部沉降深度和沉降速度与沉降时间的关系

图 4 为以每 20 秒围网中部下纲沉降过程中平均沉降深度的变化。从沉降过程来看,沉降深度总体上呈稳步增加趋势,仅在 20 s 和 60 s 左右出现较明显的波动;围网中部下纲在入水后的 1 min 内可沉降到 11.31 m,约占其最大沉降深(15.6 m)的 72.7%。1 min 之后,下纲沉降趋缓。

模型网中部下纲沉降深度和沉降时间的关系可用公式(2)表示:

$$D_m = -0.0014 t^2 + 0.276 t - 0.6476 \quad (R^2 = 0.9953) \quad (2)$$

换算为实物网沉降深度与沉降时间关系可用公式(3)表示:

$$D_s = -7E-05 t^2 + 0.281 t + 3.719 \quad (R^2 = 0.997) \quad (3)$$

式中, D_m 为模型网下纲沉降深度, D_s 为实物网下纲沉降深度,单位为 m; t 为沉降时间,单位为 s。

图 5 为下纲中部沉降速度与沉降时间的关系图,从沉降速度变化过程看,网具入水后的 0~20 s 内沉降速度波动最大,0~60 s 内下纲沉降速度分别在 12 s、36 s、52 s 左右出现波峰,之后迅速下降,其原因可能由于网具刚入水,网衣及下纲重量较大,导致沉降速度迅速增大,之后由于跑纲和括纲的拉力导致沉降速度迅速减小。在 52 s

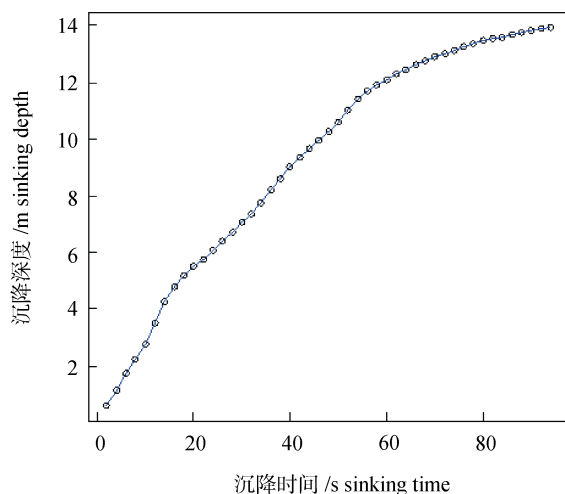


图4 下纲中部沉降深度与沉降时间的关系

Fig. 4 Relationship between sinking depth and sinking time of the middle of lead line

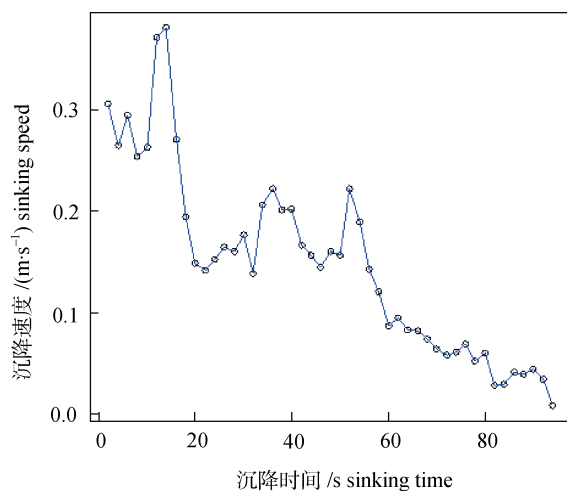


图5 下纲中部沉降速度与沉降时间的关系

Fig. 5 Relationship between sinking speed and sinking time of the middle of lead line

之后,随着沉降时间的增加,下纲沉降速度在逐渐减小。整体来看,网具沉降速度波动较为剧烈,并没有形成有规律性的变化,这可能是由于放网操作以及试验平台简陋等原因导致的。

2.2 各因素与沉降深度和沉降速度的关系

图6为放网速度和下纲重量与沉降深度和沉降速度的关系图。从图6a可知,沉降深度随着放网速度的增加基本呈递减趋势。图6b显示下纲重量与沉降深度的关系,在0.531~0.663 kg/m的范围内,随下纲重量增加,沉降深度呈大幅度增加

趋势;在0.663~0.759 kg/m范围内,随着下纲重量的增加,沉降深度在呈小幅度趋势递减,但变化并不明显。

图6c和图6d为下纲重量和放网速度与沉降速度之间的关系图,从图中可知,3个放网速度下沉降速度差异并不明显。而不同范围下纲重量对沉降速度的影响不同:在0.531~0.663 kg/m的范围内,随下纲重量增加,沉降速度呈递减趋势;在0.663~0.759 kg/m范围内,随着下纲重量的增加,沉降速度又有所提升,但0.729 kg/m和0.759 kg/m这两个水平下,沉降速度变化不大。

2.3 GLM模型分析结果

本研究中,把放网速度和下纲重量分别分为3个水平和5个水平进行试验研究,作为类别变量的这两个因素,需探求不同水平下沉降性能的影响情况。因此,本研究采用了GLM作为分析手段,把放网速度和下纲重量作为类别变量进行建模分析,考虑到沉降性能可能受下纲重量和放网速度共同影响,因此把这两个因素的交互项也放入模型进行分析,其模型运算结果如表4。

从表4得可知,下纲重量对沉降深度的影响较为显著,尤其表现在0.663 kg/m、0.729 kg/m和0.759 kg/m这3个水平上;放网速度在1.2 m/s,下纲重量为0.597 kg/m水平时,沉降深度变化较其他水平交互组显著。在沉降速度方面,只有下纲重量这一因素对沉降速度影响显著,即下纲重量在0.663 kg/m水平时沉降速度变化最为显著;而放网速度以及下纲重量和放网速度的交互项对沉降性能速度的影响并不显著。本研究重点分析了下纲重量为实物网基本配重0.663 kg/m时,沉降速度与放网速度的变化关系。从图7可知,沉降速度随放网速度的增加而增加,但放网速度在1.2 m/s和1.5 m/s这两个水平下,沉降速度变化较小。

2.4 不同放网速度的下纲张力变化

本研究中放网速度水平的划分是根据放网时间的长短进行划分的。放网时间对沉降性能有着较大的影响^[4, 17],其主要原因是通过下纲张力影

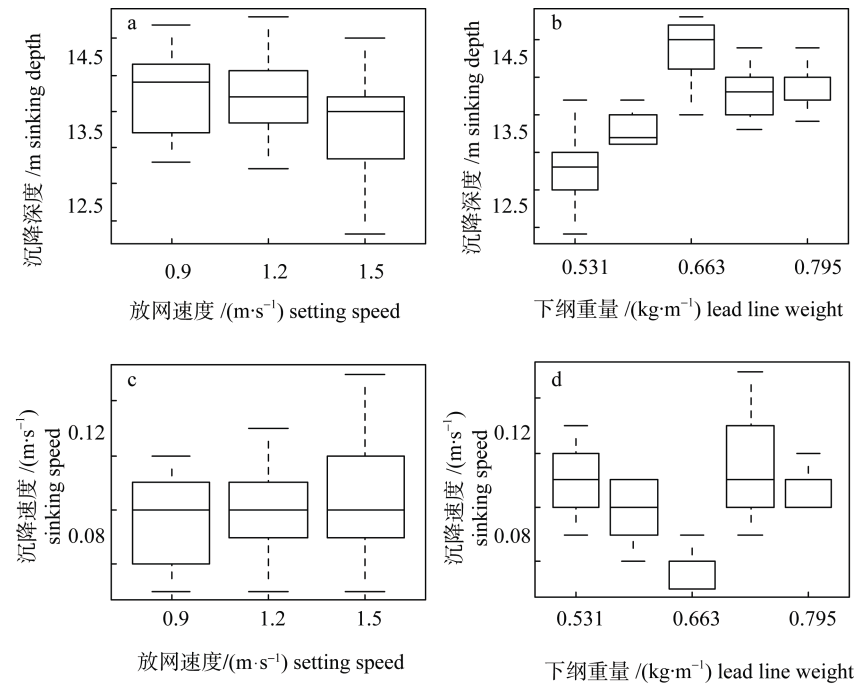


图 6 影响因素与沉降性能关系图

Fig.6 The relationship between impact factors and sinking performance

表 4 GLM 模型统计结果

Tab. 4 Statistical results of GLM

沉降性能 sinking performance	影响因素 factor	估计 estimate	标准误差 std error	t	P
沉降深度 sinking depth	截距 intercept	13.40000	0.28996	46.214	<2e-16
	下纲重量 0.663 kg/m factor(W)0.663 kg/m	1.43333	0.41006	3.495	0.00149
	下纲重量 0.729 kg/m factor(W)0.729 kg/m	1.03333	0.41006	2.520	0.01729
	下纲重量 0.795 kg/m factor(W)0.795 kg/m	1.03333	0.41006	2.520	0.01729
	下纲重量 0.597 kg/m: 放网速度 1.2 m/s factor(W)0.597 kg/m: factor(V)1.2 m/s	-1.26667	0.57991	-2.184	0.03689
沉降速度 sinking speed	截距 (Intercept)	1.000e-01	8.433e-03	11.859	7.5e-13
	下纲重量 0.663kg/m factor(W)0.663 kg/m	-2.667e-02	1.193e-02	-2.236	0.0329

响沉降速度,进而影响沉降性能。由于对下纲张力数据的采集较少,本试验中仅采集了下纲重量为 0.531 kg/m 时,不同放网速度下的下纲张力变化数据。图 8 是在下纲载荷 0.531 kg/m 时不同放网速度的下纲张力在下纲沉降时间里的变化。由该图 8 可见,随着沉降时间的增加,下纲张力在 0~20 s 内波动较大,之后保持一定的平稳状态。对比 3 个水平的放网速度下下纲张力的变化,放网速度为 1.2 m/s 较其他两组放网水平时下纲张力大。3 组放网速度水平下,下纲张力均在放网初期出现了不同程度的波动,其主要原因可能为放

网时网具与下纲之间保持松弛状态,而之后处于绷紧状态导致下纲张力迅速增大。

3 讨论

3.1 放网速度对围网沉降性能的影响

根据本试验结果分析,在最大沉降深度方面,放网速度越慢,最大沉降度越大,而沉降速度方面,随着放网速度的增加,沉降速度增大幅度较小。许柳雄等^[18]采用数学模型分析投网速度和下纲沉降速度的关系,结果表明投网速度越快,下纲入水初始速度大,越利于网具沉降。这与本研

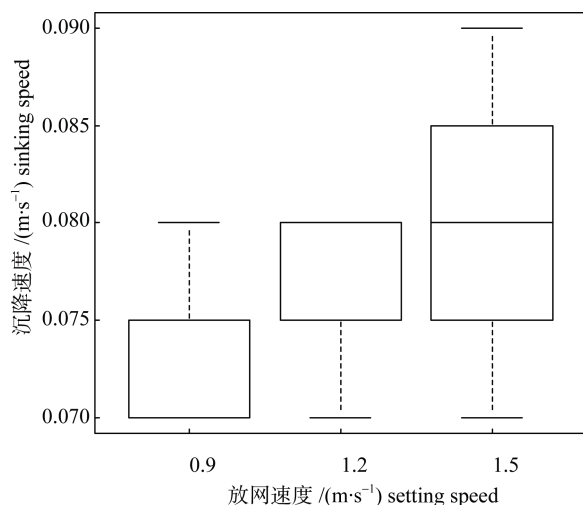


图7 下纲重量为0.663 kg/m时沉降速度与放网速度关系图

Fig. 7 The relationship between sinking speed and setting speed with the lead line weight being 0.663 kg/m

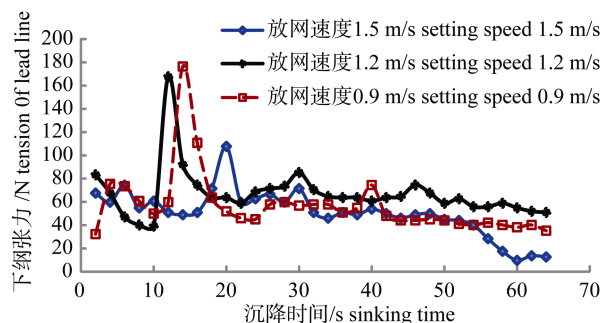


图8 不同放网速度的下纲张力变化

Fig. 8 Comparison on study tension of lead line under different setting speed

究结果相吻合,即放网速度较快,越利于沉降,主要表现平均下沉速度较快;但放网速度慢时,越利于沉降深度的增加,因为较长沉降时间。由于本次试验中发现,网具均能在较短时间内达到最大沉降深度,这有可能与模型试验操作方法包括收绞括网的时机把控有很大关系。对比海上实测研究,通过对金枪鱼围网海上实测进行网具性能分析,发现放网速度对网具沉降性能影响并不显著^[4],这与本次模型网试验结果相吻合。

3.2 下纲重量对围网沉降性能的影响

本试验主要分析了下纲重量对围网中部沉降深度的影响,结果显示,在任何水平的放网速度下,围网下纲最大沉降深度总是出现在下纲重量为0.663 kg/m时,其最大沉降深度较下纲重量为

0.531 kg/m时增加15%左右;下纲重量在0.663~0.795 kg/m范围内,最大沉降速度随下纲重量的增大而减小,但降低幅度较小,约5%,因此初步推测下纲重量0.663 kg/m可能为下纲重量对围网沉降性影响的临界值。冯维山等^[9]利用多项式回归拟合了下纲载荷与沉降速度的关系,发现下纲载荷对网片下纲沉降速度的影响存在临界值,即在此临界值之前下纲沉降速度随下纲重量增加而加快,而超过临界值则随下纲重量增加将减小,本研究结果与这一结论相吻合。

在围网下纲沉降速度方面,下纲重量为0.663 kg/m时沉降速度相较于下纲重量为0.531 kg/m时下降27%左右,降幅较明显;下纲重量为0.729 kg/m时较下纲重量为0.663 kg/m时又有大幅度的提升,幅度约为34%,而下纲重量为0.795 kg/m时沉降速度又有所降低。如此不规律的变化趋势的原因推断为试验过程中,收放网操作及试验平台及辅助设施较为简陋,导致控制因素不精确。另一个可能的原因为试验场所为淡水水域,淡水与海水物理因子的差异对网模试验结果可能造成一定的影响。

对本次试验结果的分析发现,在下纲重量为0.729 kg/m时,下纲沉降深度与试验中的最大沉降深度相差甚小,且有最高的沉降速度。因而下纲重量为0.729 kg/m时可能是下纲重量对围网沉降性影响较大的点,是下纲重量对围网沉降性作用最有效的点,对实际捕捞作业中,提高围网沉降性能,进而提高围网的捕捞效率有较大的借鉴作用。

影响沉降性能的因素较多,而许柳雄等^[18]的研究只分析了下纲重量和放网速度这两个因素分别与沉降性能的关系,并未考虑因素间的交互影响。本研究发现,沉降深度受到下纲重量和放网速度的交互影响,从而推断沉降性能的变化不仅与各因素之间存在相关关系,而且与不同因素之间的交互作用有关。因此,选择合适的下纲重量配比就显得尤其重要,在实际生产中应根据渔船的性能以及实际作业情况作合理的调配。在下纲重量为0.663 kg/m时,也就是实物网的下纲重量基本配比时,沉降速度随着放网速度的增加增大

幅度较小,但实际生产中尤其在捕获浮水鱼群中,沉降速度的提高能有效增加捕捞成功率,因此有必要在任何可能提高沉降速度的因素当中,如放网速度,进行有效而切合实际的调整,从而提高沉降速度。

参考文献:

- [1] Iitaka Y. Model experiments on the sardine purse seine operating in Hyuganada-6 [J]. Bull Jpn Soc Sci Fish, 1958, 24(6/7): 407.
- [2] Misund O, Dickson W, Beltestad A. Optimization of purse seines by large-meshed sections and low lead weight. Theoretical considerations, sinking speed measurements and fishing trials[J]. Fish Res, 1992, 14: 305–317.
- [3] Kim S J, Park J S. An analysis of sinking resistance for purse seine, in the case of the model seine with different d/l [J]. Bull Korean Soc Fish Tech, 1998, 34(3): 274–282.
- [4] Tang H, Xu L X, Zhou C, et al. Impact factors of sinking performance for tuna purse seine based on the generalized additive model[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(6): 944–949. [唐浩, 许柳雄, 周成, 等. 基于 GAM 模型研究金枪鱼围网沉降性能影响因素[J]. 水产学报, 2013, 37(6): 944–949.]
- [5] Xu L X, Wang M F, Ye X C, et al. Measurement and analysis of sinking characteristics of tunapurse seine[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(5): 1161–1169.[许柳雄, 王敏法, 叶旭昌, 等. 金枪鱼围网沉降特性[J]. 中国水产科学, 2011, 18(5): 1161–1169.]
- [6] Lan G C. Study on sinking performance of tuna purse seine by model test[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2011. [兰光查. 基于模型试验的金枪鱼围网沉降性能研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2011.]
- [7] Feng W S. The distribution of sinking-load of purse seine[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1998, 5(3): 82–87.[冯维山. 围网沉降载荷分布[J]. 中国水产科学, 1998, 5(3): 82–87.]
- [8] Feng W S. Experiment research on sinking characteristic of purse seine leadline[J]. Journal of Dalian Fisheries College, 1990, 5(3): 37–43. [冯维山. 围网下沉特性试验研究[J]. 大连水产学院学报, 1990, 5(3): 37–43.]
- [9] Feng W S, Xu C C. The influence on sinking characteristics for leadline load of purse seine[J]. Journal of Fisheries of China, 1999, 23(suppl.): 112–115.[冯维山, 许传才. 围网下沉载荷对下沉特性的影响[J]. 水产学报, 1999, 23(增刊): 112–115.]
- [10] Zhou Y Q. Mechanics of Fishing Gear[M]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2004. [周应祺. 渔具力学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.]
- [11] Iitaka Y. Model experiments on the sardine purse seine operating in Hyuganada-1[J]. Bull Jpn Soc Sci Fish, 1954, 20(7): 571–575.
- [12] Kim H, Lee C, Shin J, et al. Dynamic simulation of the behavior of purse seine gear and sea-trial verification[J]. Fish Res, 2007, 88(1–3): 109–119.
- [13] Lu C, Cui J Z. Measurement and analysis of the tension of main lines for purse seine[J]. Journal of Fisheries 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.]
- [14] Cui J Z, Lu C. Testing and analyzing of the tension on bridle for purse seine[J]. Journal of Fisheries of China, 1984, 8(4): 339–342.[崔建章, 陆赤. 围网底环张力的测试和分析[J]. 水产学报, 1984, 8(4): 339–342.]
- [15] Xu L X. Theory and Design of Fishing Gear[M]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2004.[许柳雄. 渔具理论与设计[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.]
- [16] Konagaya T. Studies on the design of the purse seine[J]. J Fac Fish Prefectural Univ Mie, 1971, 8(3): 209–296.
- [17] 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. [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.]
- [18] Xu L X, Lan G C, Yu 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. [许柳雄, 兰光查, 叶旭昌, 等. 下网重量和放网速度对金枪鱼围网下沉速度的影响[J]. 水产学报, 2011, 35(10): 1563–1571.]

Performance analysis of a tuna purse seine model

TANG Hao¹, XU Liuxiong^{1,2,3,4}, WANG Xuefang¹, ZHOU Cheng¹, ZHU Guoping^{1,2,3,4}

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

2. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Ministry of Education, Shanghai 201306, China;

3. Shanghai Higher Education Commission, Key Laboratory of Oceanic Fisheries Resources Exploitation, Shanghai 201306, China;

4. Collaborative Innovation Center for National Distant-water Fisheries, Shanghai 201306, China

Abstract: The model purse seine was prepared following Tauti's modeling law and actual cases. The dimensions of the model purse seine were: float line length, 80.9 m; maximum net height, 15.6 m; lead line length, 98 m; basic lead line weight, 0.663 kg/m; and float line buoyancy, 25 N/m. The same hanging ratio was used for the model net and the full-scale purse seine. The results show that the relationship between sinking depth (D) and time (t) for the middle section of the lead line was described by the formula: $D = -0.0014t^2 + 0.276t - 0.6476$ ($R^2 = 0.9953$). Lead line weight, but not setting speed, had a significant effect on sinking performance, while the interaction effect caused by these two factors was significant on sinking depth. Lead line weight of 0.531–0.663 kg/m increased sinking depth significantly, whereas sinking speed showed a decreasing trend. Lead line weight of 0.663–0.759 kg/m decreased sinking depth slightly, whereas sinking speed improved significantly. A lead line weight of 0.663 kg/m resulted in a tendency that sinking speed increased as setting speed increased. As sinking time increased, tension on the lead line of 0–20 s fluctuations was needed to maintain a steady state. Constructing the model net is an important part of a model test and is directly related to the model test results. In this study, we constructed a tuna purse seine model to better understand tuna purse seine performance.

Key words: tuna purse seine; lead line weight; sinking performance; setting speed; model net test

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