

文章编号: 1674-5566(2014)01-0146-08

南海灯光罩网沉降性能研究

晏磊, 张鹏, 杨吝, 杨炳忠, 谭永光, 陈森

(中国水产科学研究院南海水产研究所 农业部南海渔业资源开发利用重点实验室, 广东 广州 510300)

摘要: 根据2013年3月至4月南海灯光罩网渔船测定的沉降深度数据及搜集的渔船操作数据和海洋环境数据,对南海灯光罩网沉降深度和沉降速度与时间的关系进行了研究,并构建多元线性回归模型分析了灯光罩网最大沉降深度与放网时间、海流速度等因子的影响关系。结果显示:(1)网口纲一边沉降过程中沉降深度呈现两端深中间浅的趋势,网口纲两端最大沉降深度基本一致;(2)网口纲一边沉降速度呈现两端快中间慢的趋势,网口纲两端沉降速度都在10 m水深达到最大,而网口纲中部在5 m水深达到最大;(3)网具沉降深度与时间的关系式为 $H = -0.0008t^2 + 0.4766t + 1.2063$ ($R^2 = 0.9985$),网具沉降速度与时间的关系式为 $V = -1E-07t^2 - 0.0018t + 0.5269$ ($R^2 = 0.8813$);(4)多元线性回归分析显示放网时间、风流向夹角、绞纲时间对网具最大沉降深度影响极为显著($P < 0.001$),而海流速度、风力对网具最大沉降深度影响不太显著($P < 0.1$);且各影响因子之间不存在多重共线性($\kappa = 2.396 < 100$)。可为改善南海灯光罩网沉降性能提供参考,并为海上生产提供指导。

研究亮点: 灯光罩网是当前南海捕捞中上层鱼类的主要作业方式之一,本文根据南海灯光罩网船的实际作业数据,首次对灯光罩网船的作业网具的沉降性能进行研究,分析了灯光罩网网口纲的最大沉降深度及沉降速度与时间的关系,阐述了网口纲最大沉降深度的影响机制,为南海灯光罩网渔业生产提供参考。

关键词: 灯光罩网; 沉降性能; 沉降深度; 沉降速度

中图分类号: S 972.21

文献标志码: A

南海是中国最大的外海,地理环境优越,渔业资源丰富多样。研究发现,南海陆架区以外蕴含着丰富的中上层鱼类和头足类,鸢乌贼(*Symplectoteuthis oualaniensis*)和金枪鱼类是其中最为典型的代表,仅深水鸢乌贼保守估计资源量在 1.5×10^6 t以上^[1],具有极强的开发潜力^[2-3]。灯光罩网渔业由于其渔获量高、生产效益好、作业稳定,已成为南海捕捞中上层鱼类的主要作业方式。

灯光罩网作业规模小,网具结构简单,技术要求低,操作简单,但其捕捞效率高,劳动强度也低^[4]。迄今为止,未发现国内外学者有对灯光罩网的沉降性能做过相关研究,只有国内学者对南海灯光罩网渔业的渔获组成、开发现状、技术效

率等进行过相关研究^[5-8],但有相关学者对围网网具沉降性能做过研究,认为围网下纲的沉降速度和最大沉降深度是反映围网沉降性能的主要指标,是评价围网网具作业性能的重要参数^[9-13]。

南海灯光罩网作业时,通过光诱技术将鱼群诱集后再行扣罩,当网口纲未下降到预定深度时,鱼群会从网口纲下方逃逸,网具能否在最短的时间为下沉到鱼群下方是灯光罩网捕捞效益的关键。因此,灯光罩网的网具最大沉降深度及其沉降速度对渔业产量有着重要影响,也是反映灯光罩网沉降性能最重要的参数,具有重要研究意义。本文通过2013年3月至4月在南海海域测定的灯光罩网网具作业数据,结合渔场环境数

收稿日期: 2013-08-15 修回日期: 2013-11-11

基金项目: 国家高技术研究发展计划(2012AA092303);农业部财政重大专项(NFZX2013);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(2010ZD03,2012TS19,2013YD06)

作者简介: 晏磊(1988—),男,研究实习员,硕士,研究方向为渔具渔法。E-mail:510322457@qq.com

通信作者: 张鹏, E-mail: trawl@126.com

据,通过多元回归分析筛选出影响灯光罩网最大沉降深度的影响因子,并分析灯光罩网最大沉降深度和沉降速度与时间的关系,以期为改善南海灯光罩网沉降性能提供参考。

1 材料与方 法

1.1 渔 船

调查船为广西省北海市的“桂北渔 80208”号渔船,钢质,船长 39.02 m,型宽 7.2 m,型深 4.1 m,总吨 416 t,撑杆舷外有效长度 36 m,主机 2 台,每台功率 201.0 kW。船上配有 460 盏金属卤

化物集鱼灯(每盏集鱼灯功率 1 kW)及 HE-670 型垂直探鱼仪、GPS 导航仪、单边带对讲机等仪器设备,作业时开灯 230 盏左右。

1.2 渔具渔法

调查船使用的灯光罩网网具的主尺度为 281.60 m×80.18 m,即结附网衣的沉子纲(网口纲)长为 281.60 m,均匀装配 1 kg 的铅沉 2 816 个,网身的纵向拉直高度为 80.18 m。全身网衣构成锥形,材料为锦纶(白胶丝),网口网目尺寸为 35 mm,网囊最小网目尺寸为 17 mm(图 1)。

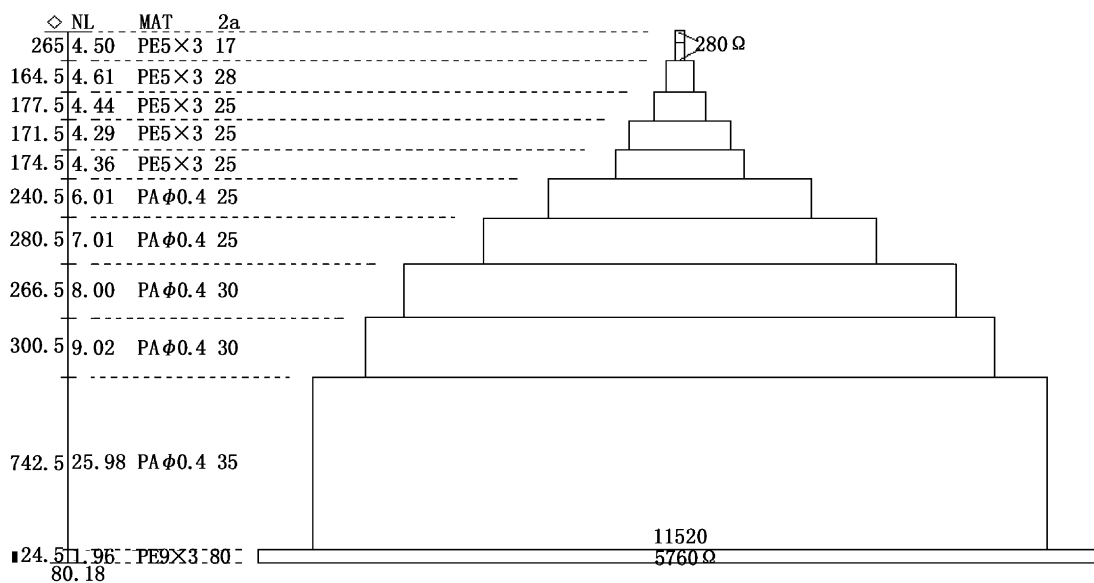


图 1 网衣展开图

Fig. 1 Net drawing of light falling-net fishing

灯光罩网在我国渔具分类中属于掩罩类渔具,到达渔场后,用船上的 4 个支架先将网衣撑开,日落后开灯进行诱鱼,诱鱼时长大约为 2 h,视当天月光强度而有所变化;待鱼群诱集后,关灯并迅速将网具扣罩下去,待网具沉降到一定深度之后,快速收缴网口纲,将网口封闭;而后逐步将整个网具拉上甲板,倒出渔获。一般每晚作业 6~10 网次。

1.3 测试仪器

测试仪器为加拿大 RBR 公司生产的 TDR-2050 型微型温度深度计(简称 TDR,下同)。仪器测定深度范围为 10~740 m,测试精度为满量程的 0.05%,分辨率为满量程的 0.001%。该仪器可自动记录和保存数据。

海流速度及风力数据分别由船上设备仪器多功能卫星导航仪(赛洋 T150)和风力计读出。

1.4 测试方法

考虑灯光罩网渔业的作业特性,在收网的一侧(即网口纲的一边)使用 3 个 TDR(图 2)来进行测试。1 号和 2 号 TDR 分别置于船左侧的两个支架正下方的网口纲上,3 号 TDR 置于支架撑开的网口纲中部。测定时,TDR 设置时间与电脑同步,时间间隔为 1 s,以便记录灯光罩网操作过程中的各个时间点。

1.5 数据处理

1.5.1 沉降深度和沉降速度测算

根据海上测试中有效网次的网口纲各测量点的最大沉降深度值,分析网口纲各部分的最大

沉降深度;以 5 m 水深为单位,计算各测量点单位内的平均沉降速度,分析各测量点网口纲沉降过程中的平均沉降速度随水深的变化情况。

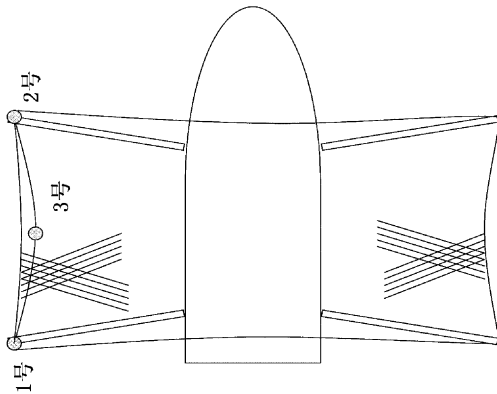


图 2 TDR 装备示意图
Fig. 2 Position of the TDR

1.5.2 沉降深度和沉降速度与时间的关系

考虑到支架正下方测量点的网口纲最大沉降深度最大,因此在分析沉降深度和沉降速度与时间的关系时选取 1 号 TDR 的数据进行分析。沉降深度以 5 s 为单位选取,沉降速度以 20 s 为单位取该时间段内的平均值,采用多项式回归分析沉降深度和沉降速度与时间的关系。

1.5.3 多元线性回归

选用 1 号 TDR 部位网口纲的沉降数据,以及采集的环境数据,利用 R 软件的多元线性回归模型^[14]来分析灯光罩网最大沉降深度(D)与放网时间(T_1)、海流速度(V_1)、风力(V_2)、风流向夹角(C)、绞纲时间(T_2)等变量因子之间的影响关系,并对各因子与模型方程分别进行 t 检验和 F 检验。

多元线性回归模型的表达式为:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p + \varepsilon \quad (1)$$

式中: $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$, $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$ 和 σ^2 是未知参数, X_1, \dots, X_p 为变量因子, $p \geq 2$ 。

1.5.4 模型的逐步回归

为了能够区分不同因子对最大沉降深度的影响效应,以及避免因子间可能存在的交互效应,故在利用多元线性回归模型时,采用逐步加入因子进行分析的方法。以 AIC 信息统计量为准则, AIC 值相对较小的模型为最适合的模型,以此达到删除和增加变量的目的,最后选择对网具

最大沉降深度的影响最为显著的因子进行模型的进一步修正,得到最优回归方程。

1.5.5 多重共线性的检验

由于某些自变量之间存在相互关系,在进行回归模型分析时可能会产生令人费解的结果。估计的效应也会由于模型中的其他自变量而改变数值。故在分析时,了解自变量间的关系影响非常重要,这一复杂问题称为多重共线性,通常对于 $p (> 2)$ 个自变量,如果存在常数 c_0, c_1, \dots, c_p ,使得式(2)近似成立,则表示这 p 个变量存在多重共线性。

$$c_1 X_1 + c_2 X_2 + \dots + c_p X_p = c_0 \quad (2)$$

度量多重共线性严重程度的一个重要指标是矩阵 $X^T X$ 的条件数,即

$$\begin{aligned} \kappa(X^T X) &= \frac{\|X^T X\| \cdot \|(X^T X)^{-1}\|}{\|X^T X\|} \\ &= \frac{\lambda_{\max}(X^T X)}{\lambda_{\min}(X^T X)} \end{aligned} \quad (3)$$

条件数刻画了 $X^T X$ 的特征值的大小,一般情况下 $\kappa < 100$,则认为多重共线性的程度很小;若 $100 \leq \kappa \leq 1000$,则认为存在中等程度或较强的多重共线性,若 $\kappa > 1000$,则认为存在严重的多重共线性^[14]。

2 结果与分析

本次测试时间为 2013 年 3 月至 4 月,测试站位 10 个,有效网次 76 次,根据这些网次的数据,对灯光罩网沉降性能进行分析。

2.1 网具最大沉降深度

表 1 显示,灯光罩网网口纲各部位中,1 号 TDR 和 2 号 TDR 部位的平均最大沉降深度分别为 71.26 m 和 70.90 m,变化范围分别为 59.38 ~ 84.90 m 和 59.90 ~ 84.89 m;3 号 TDR 部位的平均最大沉降深度为 68.44 m,变化范围为 52.86 ~ 83.31 m。网口纲各部位(选取网口纲的一边来说明)的最大沉降深度呈现中间浅两端深的趋势,这与围网下纲的最大沉降深度变化趋势正好是相反的^[9];1 号 TDR 和 2 号 TDR 部位的最大沉降深度基本一致,但在不同海况条件下受环境影响会有所差异,3 号 TDR 部位的最大沉降深度明显要小于 1 号和 2 号。

表 1 灯光罩网各测试部位的最大沉降深度

Tab. 1 Maximum sinking depth of the light falling-net fishing at corresponding testing position

网次	各测试部位对应 TDR 编号				网次	各测试部位对应 TDR 编号			
	放网时间/s	1 号/m	2 号/m	3 号/m		放网时间/s	1 号/m	2 号/m	3 号/m
1	84	68.45	66.38	61.31	39	152	80.70	80.46	78.28
2	69	64.17	60.56	59.43	40	94	75.25	75.30	68.94
3	68	67.17	63.24	59.82	41	59	66.40	66.04	62.44
4	71	63.92	60.43	57.18	42	58	65.04	64.36	59.81
5	66	74.10	73.04	71.46	43	64	68.84	69.51	65.27
6	105	72.32	71.23	69.71	44	95	66.38	67.13	64.14
7	103	71.95	71.16	69.93	45	72	66.21	68.14	63.41
8	79	69.61	69.33	67.91	46	60	62.92	64.25	60.74
9	74	68.26	67.59	65.19	47	77	63.61	63.40	52.86
10	75	74.66	74.29	72.98	48	85	76.26	76.19	74.95
11	77	64.19	62.66	60.45	49	69	69.26	69.25	67.45
12	56	66.24	66.28	58.12	50	96	78.36	77.30	77.24
13	70	72.31	72.43	71.74	51	100	83.87	83.62	83.31
14	57	73.52	72.67	71.46	52	53	76.72	77.08	75.69
15	68	64.59	64.32	62.44	53	81	76.03	75.64	75.06
16	54	59.68	59.90	57.12	54	85	76.75	76.68	75.11
17	59	59.81	59.98	59.27	55	81	77.28	77.49	75.36
18	76	59.38	60.13	56.55	56	92	78.72	78.35	77.21
19	102	74.78	75.19	73.60	57	80	70.52	76.92	77.91
20	97	75.14	74.75	73.59	58	89	73.13	75.02	75.70
21	98	75.85	75.87	75.00	59	82	72.54	72.44	71.98
22	100	74.26	73.17	72.78	60	57	69.12	70.44	69.44
23	105	76.60	76.23	75.60	61	51	73.85	75.20	75.57
24	102	72.71	72.63	72.39	62	62	72.73	70.99	69.24
25	101	72.36	72.43	71.84	63	66	74.02	73.64	72.17
26	121	78.08	78.14	77.85	64	60	77.96	77.98	75.93
27	50	61.02	64.64	58.57	65	82	76.99	76.59	74.81
28	47	64.73	66.97	61.19	66	78	75.27	75.68	73.31
29	45	64.12	66.35	61.56	67	67	75.08	76.25	73.43
30	51	60.12	62.71	55.78	68	58	73.88	75.64	72.63
31	46	68.94	70.21	68.62	69	80	72.94	74.04	71.77
32	50	59.74	61.18	57.04	70	76	74.85	75.42	73.00
33	47	63.62	65.19	61.52	71	48	76.11	66.38	64.64
34	47	61.97	62.23	61.02	72	40	70.17	62.50	60.59
35	104	79.67	80.70	76.37	73	49	70.46	64.36	59.72
36	111	84.90	84.89	81.72	74	51	70.59	63.83	60.98
37	106	82.27	82.13	79.73	75	46	73.83	70.89	65.47
38	82	78.96	78.95	76.38	76	53	69.19	63.95	61.50

2.2 网具沉降速度

根据测试数据,分析灯光罩网网口纲各部位的沉降速度变化,结果显示,灯光罩网网口纲两端、网口纲中部沉降速度差异较大,1号 TDR 和 2号 TDR 部位的网口纲沉降速度相对较快,平均沉降速度分别为 0.295 m/s 和 0.268 m/s,3号 TDR 部位的网口纲沉降速度较慢,平均沉降速度为 0.215 m/s(图 3~5)。从整体来看,网口纲的沉降趋势是先快后慢,且沉降速度都随深度的增加而递减。1号和 2号 TDR 部位网口纲的沉降速

度都在 10 m 达到最大,分别为 0.550 m/s 和 0.732 m/s,而 3号 TDR 部位网口纲的沉降速度在 5 m 达到最大,为 0.621 m/s。且 1号和 2号 TDR 部位网口纲的沉降速度在 20~35 m 区间变化相对平稳,在其他水深变化剧烈,而 3号 TDR 部位网口纲在整个沉降过程中沉降速度变化都比较剧烈,且在最后 20 m 内沉降速度有回升的趋势,这可能是由于网口纲中部受环境影响较大。

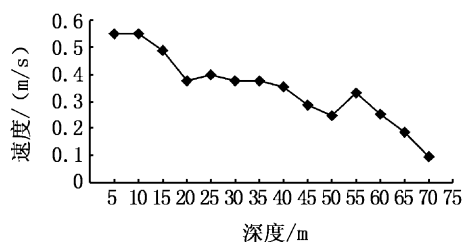


图3 1号 TDR 部位网口纲沉降速度随深度的变化

Fig. 3 Changes of sinking speed of TDR 1 at different water depth

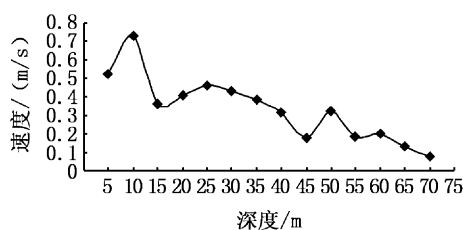


图4 2号 TDR 部位网口纲沉降速度随深度的变化

Fig. 4 Changes of sinking speed of TDR 2 at different water depth

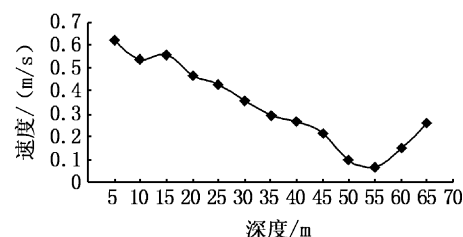


图5 3号 TDR 部位网口纲沉降速度随深度的变化

Fig. 5 Changes of sinking speed of TDR 3 at different water depth

2.3 网具沉降深度与时间的关系

南海灯光罩网网口纲沉降时间一般为 250 s 左右,波动范围较小。如图 6 所示,以 5 s 为单位,提取沉降深度数据,分析灯光罩网 1 号 TDR 部位网口纲沉降过程中沉降深度与时间的关系。结果显示,灯光罩网前期沉降较快,在 180 s 内就能沉降到 60 m,而后沉降速度变慢,沉降趋于稳定。1 号 TDR 部位网口纲沉降深度与时间关系采用多项式回归法,得到沉降深度与时间的关系式为:

$$H = -0.0008t^2 + 0.4766t + 1.2063 \quad (2)$$

$$R^2 = 0.9985$$

式中: H 为沉降水深(m); t 为沉降时间(s)。

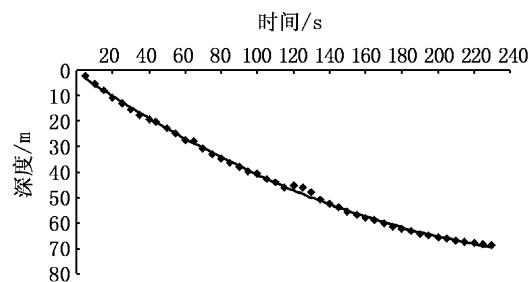


图6 灯光罩网沉降深度与时间的关系

Fig. 6 Relationship between sinking depth and time of light falling-net fishing

2.4 网具沉降速度与时间的关系

南海灯光罩网网口纲沉降速度随时间的增加而递减,如图 7 所示,以 20 s 为单位,计算 20 s 内沉降速度的平均值,分析 1 号 TDR 部位网口纲沉降过程中沉降速度与时间的关系。结果显示,网具在沉降过程中沉降速度前期下降较快,在 120 ~ 180 s 期间内会有波动,而后下降趋势减慢。1 号 TDR 部位网口纲沉降速度与时间关系采用多项式回归法,得到沉降速度与时间的关系式为:

$$V = -1E-07t^2 - 0.0018t + 0.5269 \quad (3)$$

$$R^2 = 0.8813$$

式中: V 为沉降速度(m/s); t 为沉降时间(s)。

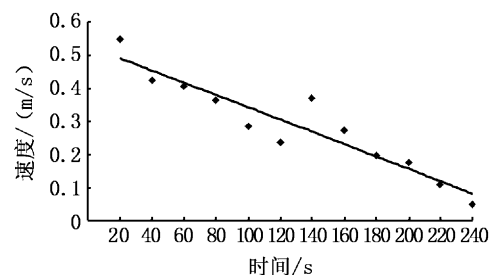


图7 灯光罩网网口纲沉降速度与时间的关系

Fig. 7 Relationship between sinking speed and time of light falling-net fishing

2.5 多元线性回归模型

研究发现,灯光罩网网口纲在沉降过程中受环境影响较大,在沉降过程中沉降速度波动较大。为了明确各个环境因子对灯光罩网沉降过程的影响机制,利用灯光罩网网口纲的沉降数据及采集的环境数据,采用多元线性回归分析网口纲最大沉降深度与放网时间、海流速度等 5 个因子的线性关系。

结果显示:放网时间、风流向夹角、绞纲时间

对网具最大沉降深度影响极为显著($P < 0.001$), 而海流速度、风力对网具最大沉降深度影响不太显著($P < 0.1$)。为了剔除对网具沉降性能影响较小的变量, 选用逐步回归法进一步确定影响网具沉降的有效因子, 可以得到最优的多元回归模

型。但是由于该 5 个因子对灯光罩网网口纲最大沉降深度都有影响, 因此采用逐步回归法分析时, 不能得到更优的多元线性回归模型, 其 AIC 值已达到最小, 为 185.23。

表 2 影响网口纲最大沉降深度各因子的参数估计

Tab. 2 Estimates of 5 parameters affecting the sinking performance of the lead line

因子	估计值	t 值	P	F 统计量	P	R^2
截距	26.264 584	5.929	1.05E-07			
T_1	0.194 256	10.775	< 2E-16			
V_1	-3.272 792	-1.947	0.055 569	39.35	< 2.2E-16	0.7376
V_2	0.497 126	1.896	0.062 075			
C	-0.015 671	-3.857	0.000 252			
T_2	0.078 920	9.027	2.36E-13			

因此, 得到灯光罩网网口纲最大沉降深度与各因子关系的最终模型为:

$$D = 26.265 + 0.194T_1 - 3.273V_1 + 0.497V_2 - 0.016C + 0.079T_2 \quad (4)$$

由式(4)得出, 网具最大沉降深度与放网时间、风力、绞纲时间成正比, 而以海流速度、风流向夹角成反比。

由变量因子生成的相关矩阵 $X^T X$ 的条件数表明放网时间、风力、绞纲时间、海流速度、风流向夹角五个因子之间不存在多重共线性 ($\kappa = 2.396 < 100$)。

3 讨论

灯光罩网渔船作业时对沉降速度和最大沉降深度要求很高。海上测试结果显示, 南海灯光罩网网口纲最大沉降深度呈现两端深中间浅的特点, 网具中部相较于网具两端最大沉降深度相差约为 3~5 m, 海上测试过程中, 由于不能准确地保证 3 号 TDR 每次都处于网口纲正中间部位, 所以网具中部与两端的最大沉降深度差值有差异, 甚至由于海流、风力等环境影响出现比网口纲两端的最大沉降深度还大的数值; 平均沉降深度约为 70 m, 与围网的平均沉降深度 160 m 相差很大, 沉降时间大约为 250 s, 远小于围网的沉降时间^[9]; 沉降过程中, 网具两端与网具中部的沉降速度差异较大, 网具两端沉降速度明显大于网具中部, 且网具两端沉降速度都在 10 m 达到最大, 而网具中部在 5 m 就达到了最大, 这与围网网具沉降速度也有所差异^[9-10, 12-13]。且相对围

网网具的沉降, 灯光罩网网具在沉降过程中沉降速度波动更大, 更易受到海洋环境的影响, 从而影响生产效益。

为了更加明确灯光罩网网具在沉降过程中受到各因子的影响状况, 本文采用了多元线性回归统计对影响因子的影响机制进行了表达分析, 并采用多重共线性分析了各影响因子之间是否存在相关性, 并利用模型预测了灯光罩网最大沉降深度与各影响因子之间的表达式, 在一定程度上解释了灯光罩网网具沉降的外部规律, 为改进南海灯光罩网渔业方式提供了理论基础。结果中, 海流速度对网具最大沉降深度影响不太显著, 影响效果明显低于放网时间、风流向夹角、绞纲时间, 这可能是由于测量的海流速度为表层流, 初始下网后由于网口纲及网衣较重, 入水后未完全展开就快速下沉所造成的。根据海上实测调查发现, 船长在下网前后要测量观测流速及流向, 不同水层海流状况是船长判断下网时间的重要依据。在今后的研究中, 可以对不同水层的海流速度与灯光罩网沉降性能的关系进行分析, 为南海灯光罩网这个新兴产业的研究与发展提供参考。

本次测试只选用了放网时间、海流速度、风力、风流向夹角、绞纲时间来进行灯光罩网网具最大沉降深度的影响分析, 但不同渔船在作业时作业方式会有所差异, 如网具规格、沉力配置、放网时间、绞纲速度等都会有所不同, 因此今后将针对不同渔船的渔船参数, 并搜集更多的可能影响因子, 构建不同的模型, 如 GLM、GAM 模型等

来进行网具的最大沉降深度的影响分析^[15-18]。

参考文献:

- [1] 张引. Fisheries acoustic studies on the Purpleback flying squid resource in the South China Sea [D]. 台北: 国立台湾大学海洋研究所, 2005.
- [2] 陈炎, 陈丕茂. 南沙群岛金枪鱼资源初探[J]. 远洋渔业, 2000(2): 7-10.
- [3] 张鹏, 杨吝, 张旭丰, 等. 南海金枪鱼和鸢乌贼资源开发现状及前景[J]. 南方水产, 2010, 6(1): 68-73.
- [4] 杨吝, 卢伙胜, 吴壮, 等. 南海区海洋渔具渔法[M]. 广州市: 广东科技出版社, 2002: 164-167.
- [5] 杨吝, 张旭丰, 谭永光, 等. 南海北部灯光罩网渔获组成及其对渔业资源的影响[J]. 南方水产, 2009, 5(4): 41-46.
- [6] 颜云榕, 冯波, 卢伙胜. 中、西沙海域 2 种灯光作业渔船的及其技术效率分析[J]. 南方水产, 2009, 5(6): 59-64.
- [7] 冯波, 许永雄, 卢伙胜. 南沙北部灯光罩网与金枪鱼延绳钓联合探捕[J]. 广东海洋大学学报, 2012, 32(4): 54-58.
- [8] 颜云榕, 冯波, 卢伙胜, 等. 南沙群岛北部海域鸢乌贼 (*Sthenoteuthis oualaniensis*) 夏季渔业生物学研究[J]. 海洋与湖沼, 2012, 32(6): 1177-1185.
- [9] 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.
- [10] 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沉速度的影响[J]. 水产学报, 2011, 35(10): 1563-1569.
- [11] 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]. Fisheries Research, 1992, 14(4): 305-317.
- [12] 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.
- [13] 励仲年. 围网网具的沉降性能[J]. 海洋渔业, 1987, 9(4): 181-182.
- [14] 薛毅, 陈立萍. 统计建模与 R 软件[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007: 267-304.
- [15] 周成, 许柳雄, 张新峰, 等. 金枪鱼围网沉降性能影响因子的多元回归分析[J]. 中国水产科学, 2013, 20(3): 672-681.
- [16] 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): 944-950.
- [17] 王春雷. 中西太平洋 1664.5m × 394.3m 金枪鱼围网沉降性能研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2008.
- [18] 刘维, 张羽翔, 陈积明, 等. 南沙群岛春季灯光围网渔业资源调查初步分析[J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(1): 105-109.

A study of sinking characteristics of light falling-net fishing in the South China Sea

YAN Lei, ZHANG Peng, YANG Lin, YANG Bing-zhong, TAN Yong-guang, CHEN Sen

(Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy Fishery Sciences, Ministry of Agriculture, Guangzhou 510300, Guangdong, China)

Abstract: Based on the data of the sinking depth, gear operating and the ocean environmental data collected on light falling-net fishing in the South China Sea during March to April 2013, the relationship between sinking depth(sinking speed) and time was studied, and the relationship between the maximum sinking depth and the relating was analyzed using multiple regression statistics. The results showed that the maximum sinking depths of the both ends of the lead line were deeper than that in the middle; the maximum sinking depths of the both ends of the lead line were consistent; the sinking speed of the both ends of the lead line was faster than the middle; the sinking speed of the both ends of the lead line achieved the maximum at depth of 10 m, and the middle achieved the maximum at 5 m; the relationship between the sinking depth and time could be described using the formula: $H = -0.0008t^2 + 0.4766t + 1.2063$ ($R^2 = 0.9985$); and the relationship between the sinking speed and time could be described using the formula: $V = -1E-07t^2 - 0.0018t + 0.5269$ ($R^2 = 0.8813$); the results of the multiple regression statistics showed that the shooting duration, the direction angle between current and the wind, pursuing time had a significant effect on sinking depth ($P < 0.001$), and the current speed and wind speed had no significant effect on the sinking depth ($P < 0.1$); there was no multicollinearity existed among the relating factors ($\kappa = 2.396 < 100$). Our observations provide reference for ways to improve sinking characteristics in light falling-net fishing and a guide for fishing operations.

Key words: light falling-net fishing; sinking characteristics; sinking depth; sinking speed