

# 围网下纲沉降特性试验研究

冯维山

(海洋渔业系)

**提要** 笔者曾对挪威鲱鱼围网的下纲沉降深度在围捕作业中进行了测试。本文根据海上实测数,对围网下纲沉降特性进行了理论分析,探求下纲沉降变化规律以及收绞括纲和投网速度对下纲沉降的影响。在此基础上对围网设计和围捕操作提出了一些建议。

**关键词** 围网,下纲,沉降,试验

**中图分类号** S973.24

围网下纲沉降速度是围网性能的重要因素之一,目前在国内外都有一定的研究。笔者对挪威鲱鱼围网进行了8个网次的下纲沉降深度测试。下面就海上实测数据加以分析,试图说明围网下纲在其沉降过程中速度的变化规律。

## 1 测试条件和测试数据

测试网是挪威利巴斯号围网船的鲱鱼围网。网具规格640m×155m,下纲长658m,上纲缩结系数自取鱼部为 $E=0.50, 0.60, 0.57, 0.60$ ;下纲铅沉子总重量3000kg(空气中重),采取不均匀分布,三段式,自取鱼部起为5.6kg/m, 3.42kg/m, 5.7kg/m,下纲装配50个底环,每个重10kg(空气中重);尼龙网衣,网目 $2a=30\text{mm}$ ,网线规格从取鱼部起为210D/54, 210D/48, 210D/24,测试作业渔场在北海丹麦外海,水深70~109m。网船采用阿巴斯三滚轮式起网机。渔获物为鲱鱼、鲈鱼、鳕鱼。测试设备为挪威捕捞监测系统(Scanmar 4001数字式显示器和D-4001深度传感器)。每个网次的测点均为下纲中部,即在后网端起的第24个底环处。测试数据见表1。

在表1中,沉降时间从测点入水开始算起,带△号的数字是指收绞括纲开始时下纲测点沉降的深度,最后的数字是各网次下纲测点沉降的最大深度。

## 2 分析与讨论

### 2.1 下纲沉降速度变化规律

由于各网次作业渔场水深和现场风、流等因素不同,为能正确分析下纲沉降变化特性,在表1中取各网次测点入水360秒钟内的沉降深度为样本加以分析,并取8个网次在相同时

本文于1989-11-01收到。

表1 实测数据

沉降时间 (S)	网							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	沉 降 深 度 (m)							
60	16.47	16.47	20.13	21.96	16.47	23.79	20.13	16.47
120	32.94	31.11	32.94	36.60	31.11	42.09	31.11	29.28
180	43.92	47.58	47.58	49.41	47.58	58.56	40.26	43.92
240	54.90	58.56	60.39	60.39	60.39	73.20	51.90	54.90
300	62.22	73.20	65.88	69.54	65.83	80.52	64.05	64.05
360	65.88	82.35	69.54	75.03	71.37	91.50	73.20	73.20
420		86.01	75.03	76.86	73.20		78.69	76.86
480		87.84					87.84	78.69
540							91.50	78.69
600							95.16	80.52
660								82.83
渔场水深(m)	76.86		75.03		73.20	104.31	109.80	98.82

间里沉降深度的均值，选用  $D = Kt^b + C$  数学模型回归和描述试验网下纲沉降的规律，因为下纲在水面的沉降深度为零，故  $C = 0$ ，则

$$D = Kt^b \tag{1}$$

式中： $D$ 为下纲在某时间的沉降深度(m)； $t$ 为测点自水面沉降的时间(s)， $K$ 为待定系数， $b$ 为待定指数。用上式回归后得， $K = 0.726$ ， $b = 0.8$ ，这样回归方程为

$$D = 0.726t^{0.8} \tag{2}$$

回归系数计算： $L_{XX} = 0.415$ ， $L_{XY} = 0.3302$ ， $L_{YY} = 12.023$ ，则，回归系数为

$$r = \frac{L_{XY}}{\sqrt{L_{XX} \cdot L_{YY}}} = 0.9995$$

剩余标准离差计算：

$$S = \sqrt{\frac{(1-r^2)L_{YY}}{n-2}} = 0.008$$

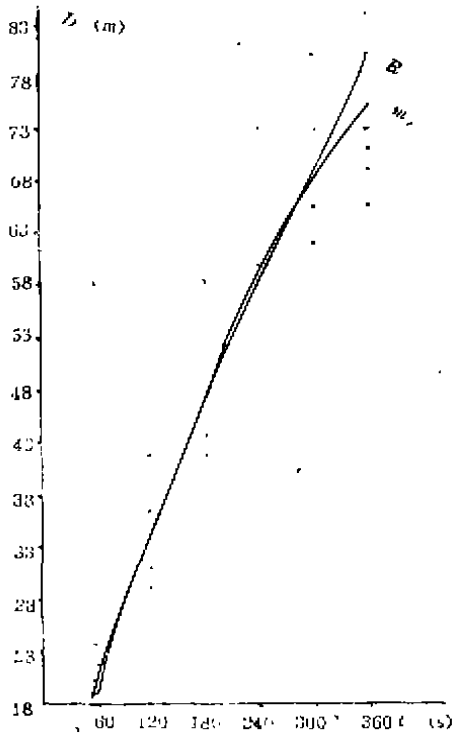


图1  $D, t$  回归曲线

在图1中，曲线  $R$  为回归曲线，曲线  $m$  是8个网次沉降深度均值曲线，各散点为各网次实测深度值。在图中明显看出在相同时间里各网次下纲测点的沉降深度不完全相同，而随着沉降时间的增加其沉降深度差异增大，认为在沉降初期主要是由于下纲入水前的状态不同使各网次下纲沉降深度产生差异，而在沉降后期可能是由于渔场流的大小，方向等因素的不同所引起的。

根据表1中的实测数据计算出平均8个网次下纲沉降平均速度，如表2所列，分析下纲沉降速度的特性。

表2 平均沉降速度

沉降时间(S)	60	120	180	240	300	360
沉降速度(m/S)	0.317	0.278	0.263	0.249	0.227	0.214

就表2中的数据, 选用下面数学模型进行回归:

$$\bar{V} = A + B_1 t + B_2 t^2 \quad (3)$$

式中,  $\bar{V}$  为下纲沉降平均速度(m/s);  $A$  为待定常数;  $B_1, B_2$  为待定系数;  $t$  为下纲自水面沉降时间(S)。经回归计算, 得  $A = 0.343, B_1 = -5.33 \times 10^{-4}, B_2 = 5 \times 10^{-7}$ , 这样公式(3)为

$$\bar{V} = 0.343 - 5.33 \times 10^{-4} t + 5 \times 10^{-7} t^2 \quad (4)$$

全相关系数计算:  $L_{00} = 25.08, L_{11} = 17.5, L_{22} = 894.83, L_{12} = 122.5, L_{10} = -20.46, L_{20} = -139.14$ , 线性方程系数  $b_1 = -1.932, b_2 = 0.109$ , 这样,  $S_{回} = b_1 L_{10} + b_2 L_{20}$  代入得  $S_{回} = 24.362$ ,

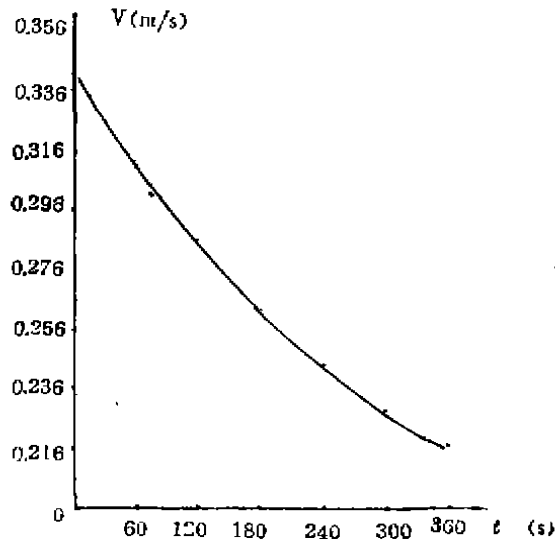
则全相关系数  $R = \sqrt{\frac{S_{回}}{L_{00}}} = 0.986$ , 剩余标准离差计算,

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-m-1} S_{余}} \quad \text{其中,}$$

$S_{余} = L_{00} - S_{回} = 0.718, n = 6, m = 2$ , 代入上式得  $S = 0.49$

在(4)式中, 当  $t = 0$  时, 即下纲在入水时测试网测点具有的速度, 可称之为下纲沉降初速度, 显然它对下纲在水中沉降有较大的影响, 有利于下纲的沉降。认为它的大小取决于下纲的重量和下纲入水前状态等因素。根据公式(4)可计算出当  $t < 17.77 \text{min}$  时, 测试网下纲沉降平均速度随着沉降时间的增加而减小, 这同一下纲沉降速度一般公式:

$\bar{V} = 1.1 \sqrt{\frac{q}{H}}$  ( $q$  为下纲载荷,  $H$  为下纲自水面沉降深度) 中的  $\bar{V}$  与  $H$  间变化关系是一致的, 这是因为下纲在沉降过程中由网衣产生的阻力随着网衣伸展面积的扩大而增加, 致使下

图2  $\bar{V}$  回归曲线

网沉降速度不断减小。通过对(4)式的计算或如图2所示,可看出下纲测点在沉降初期阶段(3min以内的时间里)的沉降速度减慢的程度大于后期,这说明围网下部网衣在下纲拖带下逐渐展开,产生的网衣阻力增加较快,而使下纲沉降速度锐减。这一特点无疑是不利围捕拦截鱼群的,特别是不利于围捕上层鱼群。在这一时间阶段内由于下纲沉降深度还不够充分,围网上部网衣还没有展开,对下纲沉降阻滞作用小,因此在设计中进一步改进围网下部网衣的沉降特性是十分重要的。

对(4)式关于 $t$ 的微分,可得下纲沉降平均加速度

$$\bar{a} = -5.33 \times 10^{-4} + 10^{-6}t \quad (5)$$

式中: $\bar{a}$ 为下纲在某时间内的沉降平均加速度( $m/s^2$ ), $t$ 为下纲自水面的沉降时间( $s$ );

分析(5)式可知当下纲自水面沉降时间 $t < 17.7min$ 时, $\bar{a} < 0$ ,说明下纲是以变减加速度状态沉降,并随着 $t$ 的增加变减速值减小,当 $t=0$ 时,即下纲在接触水面时具有减加速度,该测试网下纲测点具有 $5.33 \times 10^{-4}m/s^2$ 减加速度,笔者认为这是由于下纲从网台上落入水面产生的。

## 2.2 收绞括纲和放网速度对下纲沉降速度的探讨

在这个问题的讨论中,笔者根据测试分析提出与一般说法不相同的看法。

### 2.2.1 收绞括纲对下纲沉降的影响

在围网操作中,一般认为待网衣充分展开后才能收绞括纲,否则就担心下纲过早提升并发生滚网事故,造成破网逃鱼的结果。在表1中,带三角号( $\Delta$ )的数字是收绞括纲开始时下纲沉降的深度,表明当收绞括纲开始时下纲测点在各网次中均未达到它的最大沉降深度,并在继续沉降,待经一段时间后才达到最大沉降深度。在这段时间里虽然收绞括纲,但对下纲沉降制约作用较小,只是使下纲圈及网衣变形,随着括纲水中部分不断缩短和被拉紧,对下纲才产生越来越大的制约作用,减慢下纲沉降,最后下纲被提升。利用收绞括纲开始后下纲继续沉降这一特点对围网操作是有利的,特别是对于长高比较小的围网和围捕上层鱼群时更有利于尽早收绞括纲封闭网底。

因为下纲铅沉子的比重远大于网片材料的比重,所以在下纲沉降过程中,下纲所具有的沉降速度也远大于网片自身具有的沉降速度,这样在整体上呈现下纲拖带网衣沉降的状态,而收绞括网开始后对下纲制约又较小,因此在下纲未沉至最大深度之前开始收绞括纲不会造成下纲、括纲滚网事故。在测试的8个网次中都没有发生事故,最高网次产量为40t鲱鱼。

### 2.2.2 投网速度对下纲沉降的影响

影响围网下纲在水中沉降速度的因素是复杂的,除了网具本身因素外,操作技术对下纲沉降也产生直接影响,比如下纲在入水前的状态。在前面的分析中已指出测试网下纲在接触水面时具有一定的速度,认为这个速度的大小除与下纲铅沉子重量和下纲从船上落在水面的高度等因素外,还与投网速度有关。

图3表示下纲上一点A在放网时离船滑落至水面的过程。 $L$ 表示在投网过程中下纲离船到接触水面时的一段长度,曲线看作为近似悬链线上的一段,它的长度和形状由它本身的重量和在放网时下纲与网台间的摩擦力所决定; $II$ 表示网台距水面的高度; $\theta_1$ 角表示 $L$ 在A点处与垂直线间的夹角; $\theta_2$ 角表示 $L$ 在与水面接触处,即在C点和垂直线间的夹角,显然 $\theta_2 > \theta_1$ 。

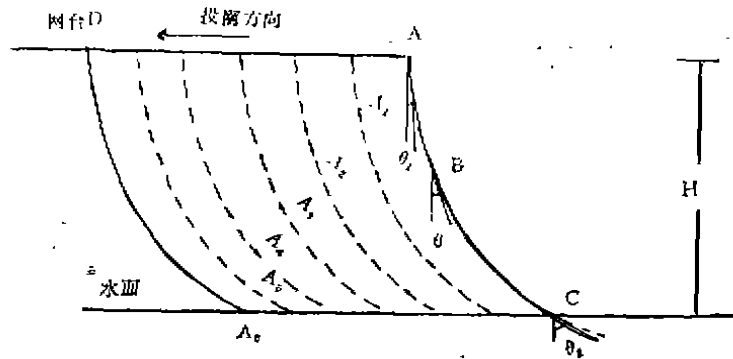


图3 下纲离船滑落水面示意图

$AD$ :  $A$ 点落达水面时网船放下纲的长度;  $A \sim A_4$ :  $A$ 点落达水面的过程

设  $t$  为  $A$  点接触水面所需要的时间, 则  $t = \frac{H}{V_m}$ 。其中:  $V_m$  是下纲  $A$  点从网台落至水面的平均

速度。显然在  $t$  时间内网船必须投放出  $L$  长的下纲才能使  $A$  点落至水面, 又有  $t = \frac{L}{V_b}$ , 其中  $V_b$

为网船投网速度, 这样,  $\frac{H}{V_m} = \frac{L}{V_b}$  即

$$V_m = \frac{H}{L} V_b \quad (6)$$

在(6)式中,  $H$  对于给定的网船是常量,  $L$  视为悬链线长度, 并为  $T_0$  (水平张力),  $q$  (单位长下纲重)、 $f$  (悬索垂度) 的函数。在指定的条件下,  $T_0$  为放网时下纲同网台的摩擦力, 当网投放某一长度后视为常量, 因摩擦力与物体表面相对运动速度无关,  $f$  近似取为  $H$ , 这样  $L$  也可看做常量, 即  $\frac{H}{L}$  对于给定的网船和围网网具是一个常数。因此(6)式表明投网速

度越快, 下纲从网台上滑落至水面的平均速度也越大, 有利于下纲入水后的沉降。在测试中也发现了这种情况, 如表3中所列。

表3 投网速度与沉降关系

网次	投网速度 (K <sub>0</sub> )	沉降深度 (m)	沉降时间 (s)	平均沉降速度 (m/s)
4	6.6	21.95	60	0.37
3	6.4	20.12	60	0.34
5	6.7	16.46	60	0.27

上表中为实测数据, 说明投网速度对下纲沉降的影响是明显的。

在下纲上任取一点  $B$ , 在  $dt$  时间内投放  $dL$  长下纲度, 则  $B$  点下落  $dH$  高度, 这样,  $dH = dL \cos \theta$  用  $dt$  除该式, 得

$$\frac{dH}{dt} = \frac{dL}{dt} \cos \theta \quad \text{即}$$

$$\overline{V}_d = V_b \cos \theta \quad (7)$$

式中,  $V_d$  为下纲  $L$  段上任一点的下落速度。在图 3 中可看出  $\theta$  角由  $\theta_1$  到  $\theta_2$  逐渐增大且小于  $90^\circ$ , 按 (7) 式可知下纲  $L$  上  $A$  点是以变减速状态下落水面, 达水面时下落速度为最小, 这个结果与由 (5) 式当  $t=0$  时得的结论是一致的。如果  $H$  等于  $L$ , 即  $\theta = \theta_1 = \theta_2 = 0^\circ$ ,  $A$  点将有最大接触水面的速度,  $V_a = V_d = V_b$ , 这在实际上是不可能的。

## 结 语

根据上述对测试网沉降特性的分析, 笔者认为在围网设计和作业操作中, 采取下面的做法是合理的、有效的。

1) 改进围网下部主网衣的沉降性能更有助于提高下纲的沉降速度。在设计中应给予充分的考虑。通常的做法是下部网衣采用大网目和采用比重较大的网线材料编织, 但这些方法往往受到条件的限制。因此建议在围网下部网衣上装配沉子, 设计多条沉子纲。这样的设计实际上增加了下部网衣的比重, 有助于提高下纲的沉降, 同时, 在收绞括纲过程中围网下部网衣在其附加沉子沉力的作用下不易向中心集拢和提升, 使网具下部保持较大空间稳定鱼群。在括纲绞机拉力不足的情况下, 把下纲一部分沉子量装配到下部网衣上也可减轻括纲绞机的负荷。

2) 在围网作业中, 采取快速投网的方法。在放网过程中, 网船投网速度取于对多方面因素的考虑, 鱼群的稳定性, 网具长度, 网船性能及操作技术等, 但在可能的条件下应采用尽快的速度放网, 这样不仅迅速包围鱼群而且有助于提高下纲的沉降速度, 增加围捕成功率。

3) 尽早收绞括纲。造成下纲或括纲滚网事故的原因是多方面的。正如前面分析所指出的那样, 尽早收绞括纲不是造成滚网事故的原因, 相反, 过晚收绞括纲在某些情况下才容易产生滚网事故。例如网的缩结高度大于水深, 下纲沉到海底后才绞收括纲, 网衣在流的作用下被冲到括纲圈内而产生滚网衣。因此, 在操作中要尽早收绞括纲封闭网底。

## 参 考 文 献

- 1 Fridman A. L. 1989, Theory and Design of Commercial Fishing Gear, Isreal Program for Scientific Translations, Translated from Rurssia, Jerusalem, 1973:358~361
- 2 Tuneso Konaga, Studies on the Design of the Purse Seine, J. Fac. Fish, Mie Pref. Univ. 1971; 8(3): 220~225
- 3 Modern Fishing Gear of the World 3:273~275

## Experiment Research on Sinking Characteristic of Purse Seine Leadline

Feng Weishan  
(Dalian Fisheries College)

**Abstract** The writer has ever measured the depths of Norwegian herring purse seine during surrounding-fishing operation. In this paper, the theory on sinking characteristic of purse seine leadline has been analysed from the data measured on sea and the change law of leadline sinking has further been searched after and the influence on leadline sinking has been studied for purseline to be pursed and the speed of shooting net. On the basis of the above analysis, the suggestions have been made on purse seine design and fishing operation.

**Key Words:** purse seine, leadline, sinking, experiment