

拖网绞车拉力分析探讨

汪 锦 源

一、引 言

拖网渔业是世界上重要海洋渔业之一，在我国海洋渔业中也占有特别重要的地位。故拖网渔船的研究设计一向为各国所重视，而拖网绞车是它的一种关键性设备，影响作业的机械化程度，并直接影响渔船的作业效果，为此对拖网绞车的研究，不容忽视。

拖网绞车拉力是标志其性能的重要参数之一，其起网时之拉力值受渔船尺度和海浪情况、所用网具规格、起网速度等许多因素的制约，颇为复杂。

日本、欧美各国对此颇为重视，曾作过多次实船测量，并对测量所得拉力值作分析和解释^[1—2]。然而因其影响因素繁多，偶而测量数次，难以得出一般规律，较全面的理论分析尚未见有公开发表。

H. M. 薩布林可夫曾对舷拖网渔船起网时载荷进行了实测和理论分析^[3]。但文中对起网时网具运动过程及波浪中船的运动情况分析，过于简化，特别是对起网时的动载荷处理，忽略了惯性力，致使理论分析结果和实测数据相差悬殊，最后将网具阻力视为起网速度的线性函数，才能凑合实测结果。如果用以计算舷拖渔船的拖网绞车，则相差更为悬殊，因此我们不能引用。

过去，使用部门对拖网绞车的额定拉力参数的要求，均以实际捕捞作业中之体会，提出经验数值作为设计依据，缺乏可靠资料。实际上究竟取何值，尚无定论。

本文试图根据拖网作业情况，对复杂的影响因素，作全面考虑。忽略一些次要因素，并使各种假定条件力求符合客观实际情况。在一定的起网速度下，来分析拖网绞车拉力值，作为今后设计及使用时参考。

二、起网过程及受力阶段划分

拖网渔船的作业方式主要是双船对拖和单船艏拖（本文不准备讨论艏拖作业）。就捕捞水层而言，又可分为底拖网及中层拖网作业。

对拖作业时，起网操作均在艏部进行。曳纲及袖网通过船尾长滚筒直接拉上甲板，囊网则于船舷或船艏用吊杆或滑轮组吊上甲板。艏拖作业起网时，曳纲系通过网板架滑轮进入拖网绞车，待网板出水固定在船上，并绞完手纲后，再将网具从船尾（或尾滑道）拉上甲板，或从船舷起吊囊网。

因此可以就静水和波浪中分别讨论拖网绞车各起网阶段受力情况，以便看出各阶段的受

力特征和大小。即可以区分为起曳网时受力情况：

- 对拖
- 舰拖 { 底拖
- { 中层拖网

以及网具开始离开海底时的受力情况。

此外，一般所指的起网速度，在起曳网阶段，实际上系由两部份组成。

即
$$V_{\text{起}} = (V_{\text{TB}} \pm V_c) / \sin \theta$$

对拖起网时，船后退用 (+) 号。舰拖起网时，船前进用 (-) 号。

式中： $V_{\text{起}}$ ——起网速度，米/秒；

V_{TB} ——网具对水速度，米/秒 (对拖作业时 V_{TB} 较小)；

V_c ——船速，米/秒；

θ ——船尾曳网与垂线间夹角，如图 1 所示；

夹角 θ 是拖网深度及悬点拉力的函数，就我国拖网作业的情况，按悬索理论计算， θ 在 $60^\circ \sim 85^\circ$ 之间变动，即 $\sin \theta$ 从 $0.92 \sim 0.99$ 故可近似认为 $\sin \theta \approx 1$ 。

拖网深度 H 米	H/S = Cos θ	θ	Sin θ
400	0.384	67.5°	0.925
300	0.345	69.8°	0.94
200	0.278	73.8°	0.964
150	0.244	76°	0.97
100	0.20	78.5°	0.98
50	0.143	81.9°	0.99
30	0.11	83.7°	0.995

附表为悬点拉力的水平分力 2 吨时， θ 值的变动情况。

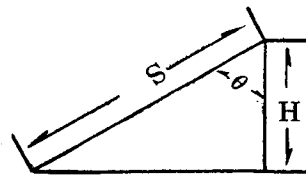


图 1 船尾曳网与垂线间夹角

此外尚需对若干问题进行讨论。

1. 对拖作业起曳网时，网具运动情况

目前对拖作业起曳网时，主机停车 (即拉开主机离合器)。在刚停车时，船及网具有前进惯性冲量，继续向前滑行一段距离。设行程为 x ，则平衡方程式为 (见图 2)。

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = R_T + R_{cB}$$

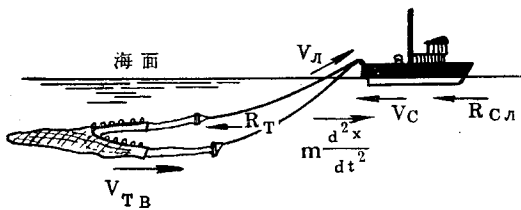


图 2 船及网惯性前冲时之受力图

式中： m ——船及网具系统之质量；

R_T ——网具阻力；

R_{cB} ——船前进时之阻力。

船及网具系统的惯性冲量很快消失，以后在拖网绞车拉力作用下，船开始稳定后退。

$$V_{\text{TB}} = V_{\text{起}} \sin \theta - V_c$$

此时对船言，在有风有浪的情况下 $R_B + R_c + R_{cB} = T_{BT}$ (见图 3)

式中： R_c ——船后退时水阻力；

R_{cB} ——船后退时风阻力；

R_n ——船后退时波浪拍击力；

T_{Br} ——曳网拉力水平分量。

(1) R_c 的决定：

按船模试验统计结果，单螺旋桨船

$$R_c = 1.2 R_{cn}$$

双螺旋桨船 $R_c = 1.16 R_{cn}$ ，详见参考文献

献[4]。

再另加螺旋桨不动时之阻力，约为正车时之30%（单螺旋桨船）故 $R_c = 1.5 R_{cn} = f(V_c)$

(2) R_{cb} 的决定：

参阅参考文献[5]可得

$$R_{cb} = K A V_B^2$$

式中： V_B ——相对风速，米/秒；

A ——船只水上部份在中央横剖面上的投影面积，平方米；

K ——系数，视风向与船纵中剖面间的夹角 α 而定。

一般船拖网方向是顺风，起网时船向后退，就可能顶风。则 $K = 0.022 \sim 0.028$ 。

(3) R_n 的决定：

船后退时之波浪拍击力，可以下式计算[1]。

$$R_n = \rho \alpha (v + V_c)^2$$

式中： ρ ——104.5，公斤·秒²/米⁴；

α ——船尾受压面积，米²；

v ——波速，米/秒。

在不同波浪中，造成的拍击力瞬时值相差甚大。

对网具言： $R_T = T_{Br}$ 。

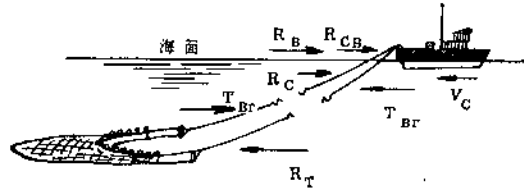


图3 船稳定后退时之受力图

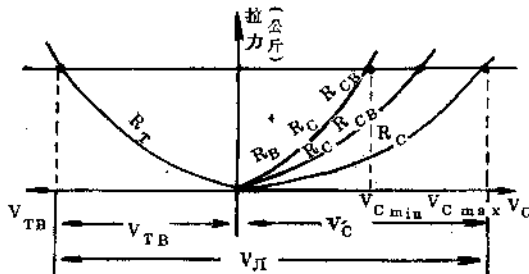


图4 求船后退速度之图解法

若船稳定后退必须 $R_B + R_c + R_{cb} = R_T$ (图3)。

可用图解法求得在一定网具运动速度下，船后退速度的变化范围 (图4)。但因风阻力是风速和风向的函数。波浪拍击力又和海况有关，故在船整个使用周期内，船后退并不恒定。船具有后退速度固可减少拖网绞车拉力，但从作业要求来看，为避免使网卷入船底或缠住螺旋桨，或使网与水无相对运动而致渔获物

逃逸，故并不希望船后退速度过大，有时常开车前进以抵制后退惯性。

实际作业中，船后退速度随海况不同而相差颇为悬殊。1954年日本第111明石丸（以西底曳），在无风无浪海况平静的情况下起网时，测得船后退速度达1.33米/秒[1]。而有时船尾顶风顶浪起网，则船甚至可能不动。故设计计算时应按一定海区的水文气象条件，取不同的平均后退速度来计算拖网绞车拉力。就东黄海而言，我国对拖渔船在4—6级风浪下作业时，船后退速度在15~30米/分之间，故选定计算后退速度为0.25~0.5米/秒，是比较接近于实际作业的平均情况的。

2. 艧拖作业起曳網时网具运动速度

为了防止网板傾倒，造成事故，船必須開車前进，故网具对水速度增加 $V_{TB} = V_x \sin \theta + V_c$ ，拖网絞車拉力也必然相应增大。

3. 起网时之网具对水速度

因为起网时，曳網已收絞完毕。艧拖作业之网板也已起上固定于船上，无论艧拖或对拖，計算情况均相同。（如图 5）。

若起网具时，船停車，則 $V_{TB} = V_x$ 。

若船具有前进速度 V_c ，則 $V_{TB} = \sqrt{V_x^2 + V_c^2}$ 。或遇有强烈潮流速度 V'_c 时，則 $V_{TB} = \sqrt{V_x^2 + V'_c{}^2}$ 。

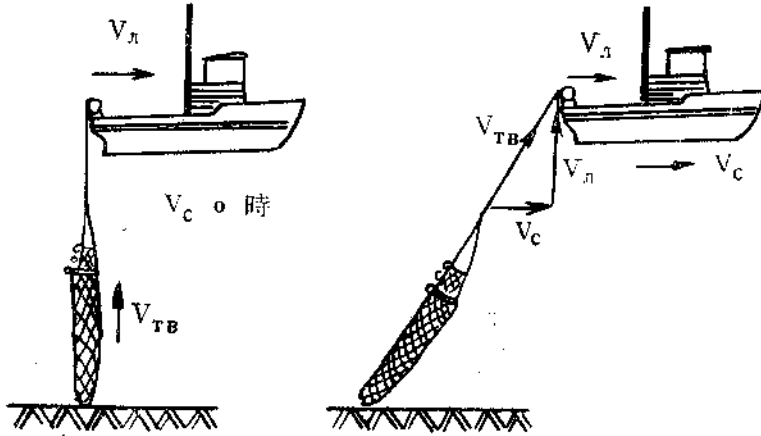


图 5 起网时之运动情况

三、靜水中起网时之受力情况

1. 对拖作业起曳網时之受力情况

因对拖作业时曳網很长，一部份悬于水中呈悬練綫，另一部份曳網則臥于海底，起驅赶魚群及稳定网具运动之作用。在起网过程中，很长时间内，悬練綫形状基本上保持不变，而臥于海底部份曳網則不断减小（减小长度为 $\Delta l = V_x t$ ）（ V_x ——起网速度， t ——起网时间），其重量及阻力也不断减小，故受力計算时应取刚开始起曳網阶段为准则。受力情况如图 6 所示。

設： P_1 ——网具及漁获物在水中重量 = 空气中重量与浮力之差，公斤（实际計算中因漁获物比重近于或小于 1，可不計算漁获物）。

P_2 ——悬練部份曳網在水中重量，两根总和为 $2P_2$ ，公斤。

$$P_2 = \omega l_A$$

ω ——每米曳網在水中重量，公斤/米；

l_A ——曳網悬練部份长度，米；

P_3 ——臥于海底部份曳網之水中重量，两根总和为 $2P_3$ ，公斤。

按悬索理論^[6]，由拖网深度 H （米），每米曳網在水中重量 ω （公斤/米）及每根曳網上拖网絞車拉力 $\frac{1}{2}P'$ （公斤）来决定 l_A 值。

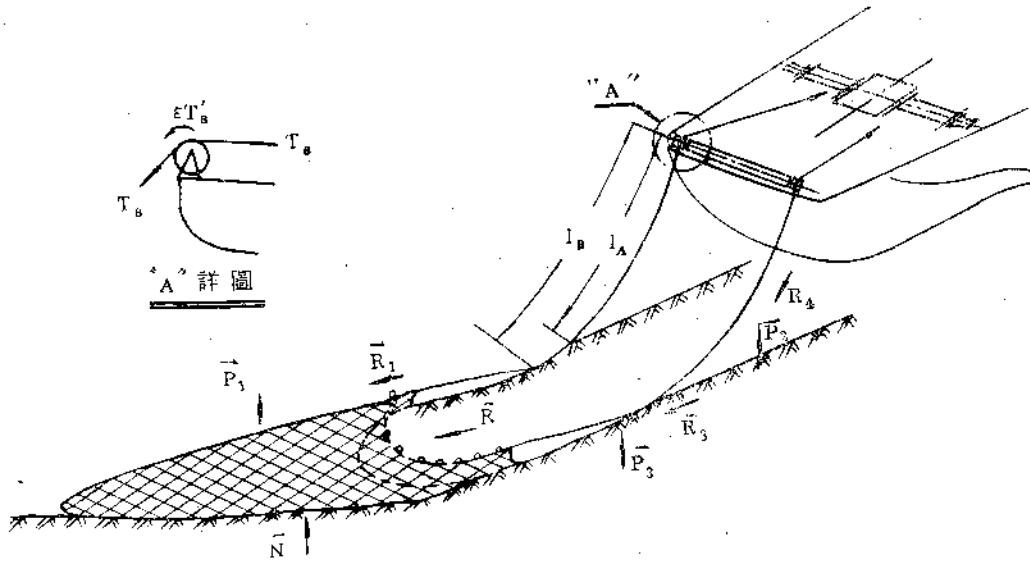


图 6 静水中起曳网时之受力图

$$l_A = \sqrt{\frac{2 \cdot \frac{T'_B}{2} \cdot H}{\omega} - H^2}$$

必须预先假定 T'_B 值，进行近似计算，如最后计算结果和假定值相近，则即为正确。

R_1 ——网具及渔获物在起网时之水阻力。公斤。

起曳网时之网具水阻力是由网衣各部份（袖网、身网、囊网）及浮沉子纲等阻力之总和，一般均与网具对水速度平方成正比，其比例系数 K 取决于网目大小、网线粗度、网片与水流交角、网衣投影面积、浮沉子纲尺度等因素，对一定网具有相应之总阻力系数 K 值。

$$\therefore R_1 = KV_{T_B}^2 = K(V_{\pi} \sin \theta - V_c)^2$$

R_1 可以用上述方法，将各部件分别计算后求得^[6]，但由于起曳网时二个袖网合併在一起（图 7），网具和水流间交角很难确定。故一般可用在静水中起网时之实测数据来确定 K 值。

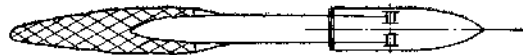


图 7 起网时两个网袖合併情况

R_2 ——沉子纲与海底的摩擦阻力，公斤。

由于渔获物比重均接近或小于海水，故网具运动时一般仅沉子纲与海底摩擦，其他部份基本上不与海底接触，从实际作业中也可看出，仅在沉子纲及其附近若干网目上有泥浆。

$$R_2 = fG_2 \text{ 公斤。}$$

式中： G_2 ——沉子纲在水中重量，公斤；

f_2 ——沉子纲与海底摩擦系数，一般取 0.35；

R_3 ——卧于海底部份曳网与海底摩擦阻力及水阻力之和。两根总和为 $2R_3$ ，公斤。

$$R_3 = f_3 \omega (l_B - l_A) + K_0 (l_B - l_A) d_0 V_{T_B}^2$$

式中： l_n ——实际作业所放出之曳网长度，按作业习惯及拖网深度决定，一般可按式估算[7]。

$$l_n = 5H + 450 \pm 75 \text{ (米)}, H \text{ 为拖网深度, 米;}$$

f_n ——曳网与海底摩擦系数，一般可取0.35；

d_n ——曳网直径，米；

K_n ——水流平行于曳网轴线时之阻力系数 ≈ 3 [6]；

R_4 ——曳网水阻力。按起曳网时，因悬索形状基本不变，受力方向与悬索一致，即曳网与运动方向之夹角为 0（公斤）。

如图 8 所示 $R_4 = K_n l_n d_n V_{TB}^2$ ，两根曳网水阻力总和为 $2R_4$ 。

N ——起网时水流对网具，渔获物的升力及海底对卧于海底沉子网及曳网之托力，公斤；

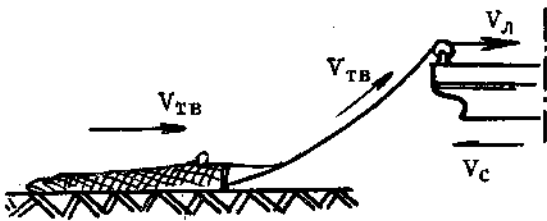


图 8 曳网运动之方向

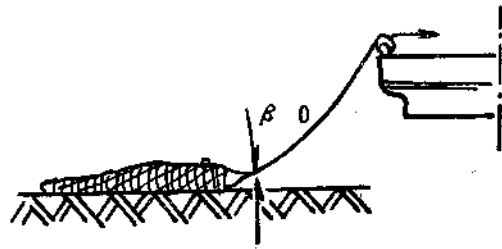


图 9 曳网与海底接触图

T'_n ——起曳网时网长滚筒处拉力（两根曳网之拉力总和），公斤。

在收网时，网具及渔获物是贴近海底的，因之网具运动时之升力及海底对沉子网及曳网之托力 N 抵消了网具及渔获物在水中之重量及卧于海底曳网之重量。

即
$$\vec{N} = \vec{P}_1 + 2\vec{P}_3$$

因曳网与海底之交角 $\beta = 0^\circ$ （图 9）按悬索理论可得

$$(T'_n - 2R_4)^2 = (R_1 + R_2 + 2R_3)^2 + (2P_2)^2 \text{ (如图10)。}$$

若根据静水中起网时之实测数据 T'_n ，可按上式计算确定网具及渔获物在起网时之阻力系数 K 。

拖网绞车拉力则为 $T_n = (1 + \epsilon)T'_n$ 。

ϵ ——长滚筒与曳网摩擦系数取 0.03~0.06

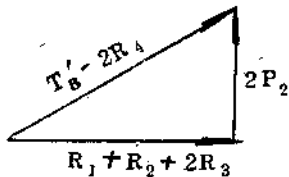


图 10

2. 网具开始离开海底时之受力情况

当曳网逐渐收网缩短，其剩余长度小于原悬索长度时，拉力开始增加，悬索形状渐变。直到网具离开海底而达最大值。在网具脱离海底而尚未到达甲板上之瞬间，网具由于其自重而悬垂于水中（在捕捞小黄鱼等浮性鱼时，因其重量较小。同时愈接近水面时，因鱼膘扩张而产生浮力，足可抵消网具在水中重量。故一般网具并不悬垂于水中，但捕捞沉性鱼一如带鱼时，网则悬垂于水中），此时拖网绞车之受力为 T_r 。如图11所示

则
$$T'_r = P' + R'$$

$$T_r = (1 + \epsilon)T'_r$$

R' ——网具及渔获物水阻力。

考虑其起网速度不变，且无波阻，拖曳方向仅为从起曳网时之水平方向改为垂直方向，故阻力计算方法与起曳网时相同。当起网时船速为0时，

$$R' = R_1 \frac{V_{\pi s}^2}{(V_{\pi} \sin \theta - V_{\pi})^2} \text{ (公斤),}$$

当起网时船速为 V'_c 时，

$$R' = R_1 \frac{(\vec{V}_{\pi s} + \vec{V}'_c)^2}{(V_{\pi} \sin \theta - V_c)^2} \text{ (公斤),}$$

P' ——网具及渔获物在水中重量，(公斤) $P_1 = P'$ 。

式中 $V_{\pi s}$ 为起网具时之起网速度。一般为避免拉力

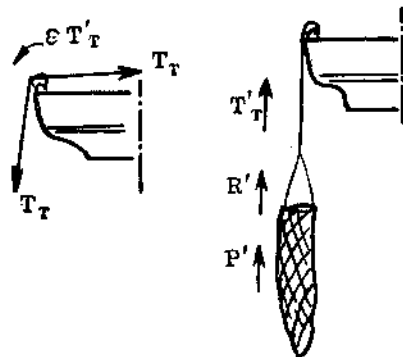


图 11 拖网受力情况

急剧增大，及保护网具不使损坏，在网具出水时，常降低起网速度，使 $\frac{V_{\pi s}^2}{(V_{\pi} \sin \theta - V_c)^2} \approx 1$ 。

3. 艧拖网作业在静水中起曳网时之受力情况

对于同样马力的渔轮，艧拖网作业所使用网具，其拖网阻力远较其对拖网具为小。(因双船拖网拖力几乎可大一倍)。但因起曳网时船必须具有向前运动速度，在同样起网速度下，实际网具对水速度增加。故阻力也增大。即 $V_{TB} = V_{\pi} \sin \theta + V_c$ 。

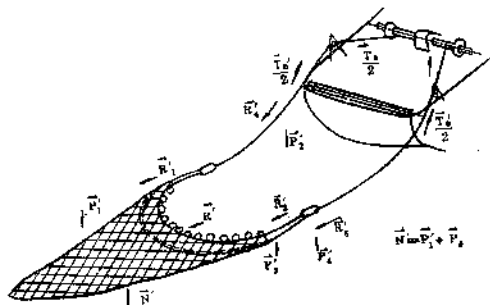


图 12 艧拖网作业起曳网时的受力图

在起网具时，因为曳网收绞完毕后。网板即可固结于网板架上，在收手网时网具虽悬于水中，但因其对水速度减小，拖网绞车拉力骤减，故艧拖网渔船拖网绞车最大负荷将发生在起曳网时。这点与国外实船试测资料也相符[8]。对同一台拖网绞车而兼作对拖和艧拖用者，更可不计此一情况。艧拖作业起曳网时的受力如图12所示。

导入下列符号：

R'_1 ——艧拖网具及渔获物在起网时的水阻力，公斤；

$$R'_1 = K'(V_{\pi} \sin \theta + V_c)^2;$$

K' ——艧拖网具起网时之阻力系数；

R'_2 ——沉子网与海底的摩擦阻力，公斤（计算方法如 R_2 ）；

R'_3 ——手网水阻力，两袖共为 $2R'_3$ ，公斤；

$$R'_3 = K_0 l_a d_a (V_{\pi} \sin \theta + V_c)^2;$$

$$K_0 \approx 3$$

l_a ——手网长度，如为双手网则为两根之和，米；

d_a ——手网直径，米；

R'_4 ——曳网水阻力，两根曳网总和为 $2R'_4$ ，公斤；

$$R'_4 = K_0 l'_a d'_a V_{TB}^2;$$

d'_a ——曳网直径，米；

l'_A ——艧拖网具曳纲长度, 米;

可按式 $l'_A = (3 + \frac{25}{H})H$ [9]

H ——拖网深度, 呎;

l'_A ——曳纲长度, 呎;

R'_5 ——网板正面阻力及与海底摩擦阻力, 共为 $2R'_5$, 公斤;

$$R'_5 = \frac{1}{2} C_x \rho (V_x \sin \theta + V_c)^2 S + P_4 f,$$

S ——网板面积, 平方米;

C_x ——网板阻力系数 = $f(d)$, 可参考 [10] 选取;

α ——网板与水流交角;

ρ ——水之密度;

P'_1 ——艧拖网具及渔获量在水中重量, 公斤;

P'_2 ——曳纲在水中重量。两根总和为 $2P'_2$, 公斤。即

$$P'_2 = (q - q_0) l'_A = \omega l'_A;$$

P'_3 ——手纲在水中重量, 共为 $2P'_3$, 公斤;

P'_4 ——网板在水中重量, 公斤。

(1) 在艧拖底曳作业时;

N' ——起网时水流对网具、网板、渔获物的升力及海底对网具的托力, 公斤。

则 N' 抵消了 P'_1 和 P'_4 , 即 $N' = P'_1 + P'_4$ 。故可得拖网绞车拉力 T'_B 与阻力及重力的关系式。

$$(T'_B - 2R'_4)^2 = (R'_1 + R'_2 + 2R'_3 + 2R'_5)^2 + (2P'_2 + 2P'_3)^2$$

也即可求得 $T'_B = T'_B (1 + \epsilon)$

(2) 在中层拖网时;

由于中层拖网时网具不和海底接触, 故 $R'_2 = 0$, 而 N' 为起网时水流对网具及渔获物的托力及网板的垂向升力。

同样 $N' = P'_1 + P'_4$ 。故由式

$$(T'_B - 2R'_4)^2 = (R'_1 + 2R'_3 + 2R'_5)^2 + (2P'_2 + 2P'_3)^2。可求得 T'_B 。$$

四、波浪中起网时的受力情况

对拖网绞车拉力影响最大的是起网时的水文气象条件。在风暴海况下作业时将发生周期性动力载荷, 使拖网绞车承受极大的冲击, 导致其工况恶化, 甚至损坏, 故必须分析在波浪中之受力情况。

由于曳纲或网具随着船舶俯仰运动而作摆动, 故其运动时之加速度及伴随产生的惯性力即形成拖网绞车之动力载荷。对此动力载荷有决定影响的是网具与船连接处 (艧长滚筒或艧滑道处) 的加速度, 而此加速度值决定于船纵摇和起伏幅度及所遇波浪频率 σ 的大小, 所以在计算动力载荷时首先要确定对船起网时最不利的波浪要素。

1. 波浪要素的选择

起网时船在波浪中作俯仰运动 (即纵摇与起伏之复合运动)。一般而言船的纵摇及起伏自

搖周期相近。

$$\text{即縱搖周期 } T_{\Phi} \approx \text{起伏周期 } T_z, \quad T_z \approx 2.8 \sqrt{\frac{\delta}{\alpha}} T。$$

式中：\$T\$——吃水，米；

\$\alpha\$——水綫面系数；

\$\delta\$——方形系数。

\$T_{\Phi}\$ 及 \$T_z\$ 也可用其他公式計算。

$$\text{設起伏調諧因數 } \lambda_z = \frac{T_z}{T_e}, \quad \text{縱搖調諧因數 } \lambda_{\Phi} = \frac{T_{\Phi}}{T_e}。$$

式中：\$T_e\$——相遇周期；

$$T_e = \lambda / (C - V_c \cos \alpha)；$$

\$\lambda\$——波長，米；

\$C\$——波速，\$C = 1.25 \sqrt{\lambda}\$，米/秒；

\$\alpha\$——船航向與波浪方向夾角，迎波為\$180^\circ\$，順波為\$0^\circ\$；

\$V_c\$——起網時的船速，米/秒。

俯仰運動共振現象一般是發生於 \$\lambda_{\Phi} = \lambda_z = 1\$ 及 \$\lambda_{\Phi} = \lambda_z = \frac{1}{2}\$ 時，而在漁船起網時，因船速極低接近於 0。故佛氏數 \$F_r \rightarrow 0\$，擾動力矩降低，共振波發生在 \$\lambda_{\Phi} = \lambda_z = \frac{1}{2}\$ 時，

而 \$\lambda_{\Phi} = \lambda_z = 1\$ 時不可能發生共振〔11〕。

通常中小拖網漁船 \$T_{\Phi}\$ 約為 3—4 秒，調諧因數為 1 時，當 \$F_r \rightarrow 0\$ 其相應的 \$\lambda/L < 0.8\$，擾動力矩減小，故俯仰運動之振幅極微〔12〕。因此應按調諧因數為 \$\frac{1}{2}\$ 來選擇使起網時產生共振的波長 \$\lambda_L\$（米）。

我國海區除渤海以外，其水深均超過一般漁船所遇到的半波長度，故可作為深水波考慮，其波高值 \$H\$ 可參考汪炳祥推薦之數值〔13〕，\$\frac{H}{\lambda} = \frac{1}{16.4}\$，波浪周期為

$$\tau = \frac{\lambda}{C} = \frac{\lambda}{1.25 \sqrt{\lambda}} \text{ (秒)}。 \quad \text{波浪頻率 } \sigma = \frac{2\pi}{\tau} \text{ (秒}^{-1}\text{)}。$$

下面討論遇到不同波浪尺度的情況：

(1) 波浪尺度小於共振波時（即 \$\lambda < \lambda_L\$）：如圖 13

對船起網時最不利的波長為 \$\lambda_L\$，然而在起網過程中，船長不可能針對不同方向波浪來變動船方向，以避免共振。故對小尺度波浪，當船斜置於這種波上時，可能引起共振，此時波長可看作等於 \$\lambda_L\$，而波浪頻率也同樣取決於與船斜切時的波長 \$\lambda_L\$（不是原波長 \$\lambda\$），故 \$\sigma = \sigma_L\$（\$\sigma_L\$—共振波浪頻率），因為原波高不變（小於共振波高 \$H_L\$），故當遇與船斜交之較小波浪時，其加速度較小，對船來說，無不利影響。

此外按上述理由，起網時船舶最危險的是平行於船縱舷剖面的共振波，因之我們在選擇 \$\lambda_L\$ 的公式中還可以忽略船航向與波浪夾角這一因素，即 \$\alpha = 0^\circ\$。

$$\frac{T_{\Phi}}{\frac{\lambda_L}{C - V_c \cos \alpha}} = \frac{T_{\Phi}}{\frac{\lambda_L}{C - V_c}} = \frac{1}{2}$$

(2) 波浪尺度大于共振波时($\lambda > \lambda_L$):

因 $\lambda > \lambda_L$, 故 $\sigma < \sigma_L$, 加速度小于共振波的加速度 θ_L , 即 $\theta < \theta_L$, 虽然其波高较共振波为大, 但 $\theta \propto \sigma^2 \propto \frac{1}{r^2} \propto \frac{1}{\lambda} \propto \frac{1}{H}$ 故加速度并不会随波高而增加。

按上述讨论, 对各种渔船(T_{Φ} 一定), 可以求得起网时对船最不利的一个共振波要素

$$\lambda_{\Phi} = \lambda_z = \frac{T_{\Phi}}{\frac{\lambda_L}{1.25\sqrt{\lambda_L} - V_c}} = \frac{1}{2}$$

即 $\lambda_L = 2(1.25\sqrt{\lambda_L} - V_c)T_{\Phi}$

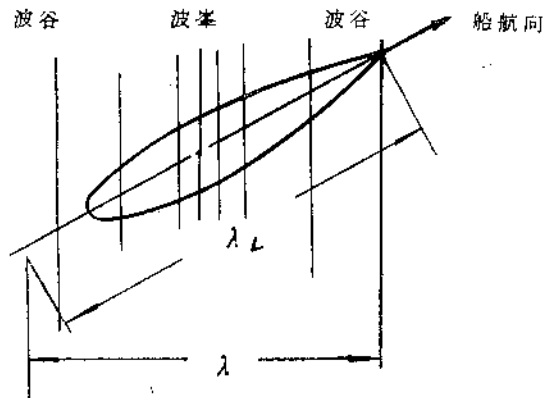


图 13

对拖作业时 $V_c \approx 0$

故 $\lambda_L = 2T_{\Phi} \times 1.25\sqrt{\lambda_L} = 6.25T_{\Phi}^2$

2. 船作俯仰运动振幅的计算

当船遇波浪共振时, 在起网时航速近于 0 (单拖起网时, 航速一般不超过 2 节, 佛氏数 $F_r \ll 0.1$, 可视为近于 0), 因扰动力矩减小, 纵摇振幅一般不超过最大波倾角^[11]。

最大波倾角 $\alpha_n = \frac{\pi H}{\lambda_L}$ 实际上由于船的存在, 有效波倾角 α_m 还比 α_n 小。

起伏振幅可用下式表之 $Z_m = \frac{H}{2} \left[\frac{x_s(1-q_1)\lambda_z^2}{\sqrt{(1-\lambda_e)^2 + 4\mu_z^2\lambda_z^2}} \right]$

式中: μ_z ——相对的起伏无因次阻力系数;

q_1 ——附加质量系数;

x_s ——起伏递减系数。

上述系数均可按^[14]所叙进行计算。

按 Sim 氏理论计算和实验结果, Z_m 通常均小于 $\frac{H}{2}$ ^[15], 故可直接取 $Z_m = \frac{H}{2}$, 是偏于

安全的。

由于起网时，船本身几乎不前进，基本上是随波运动，故船在波浪上起伏与纵摇相位差为 $\delta\phi_{\sigma} = \frac{\pi}{2}$ 。

3. 网具与船连接处振幅及最大加速度

由上节所述，俯仰运动时，纵摇最大值 $\alpha_n = \frac{\pi H}{\lambda_L}$ (弧度)；起伏最大值 $Z_m = \frac{H}{2}$ (米)；纵摇与起伏相位差 $\delta\phi_{\sigma} = \frac{\pi}{2}$ 。

则连接点（艏长浪筒或艏滑道处）运动方程式可写为（假定纵摇轴在船长中点）：设振幅为 A

$$\begin{aligned} A &= \frac{L}{2} \cdot \alpha_n \cdot \sin \sigma t + \frac{H}{2} \sin \left(\sigma t + \frac{\pi}{2} \right) \\ &= \frac{\pi HL}{2\lambda_L} \sin \sigma t + \frac{H}{2} \cos \sigma t. \end{aligned}$$

$$\frac{dA}{dt} = \frac{\pi HL}{2\lambda_L} \sigma \cos \sigma t = \frac{H\sigma}{2} \sin \sigma t$$

$$\begin{aligned} \text{艏部运动加速度 } \alpha &= \frac{d^2A}{dt^2} = - \left[\frac{\pi HL}{2\lambda_L} \sigma^2 \sin \sigma t + \frac{H\sigma^2}{2} \cos \sigma t \right] \\ &= - \frac{H\sigma^2}{2} \left[\frac{\pi L}{\lambda_L} \sin \sigma t + \cos \sigma t \right] \end{aligned}$$

令 $\sigma t = \alpha$ ，因系周期系数，符号与最大值无关。则艏部加速度最大值时之 α 值可按下式求得。

$$\text{令 } \frac{d\alpha}{d\alpha} = \frac{d \left[\frac{\pi L}{\lambda_L} \sin \alpha + \cos \alpha \right]}{d\alpha} = \frac{\pi L}{\lambda_L} \cos \alpha - \sin \alpha = 0$$

$$\text{故 } \tan \alpha = \frac{\pi L}{\lambda_L}, \quad \alpha = \tan^{-1} \frac{\pi L}{\lambda_L}.$$

$$\frac{d^2\alpha}{d\alpha^2} = \frac{d \left[\frac{\pi L}{\lambda_L} \cos \alpha - \sin \alpha \right]}{d\alpha} = - \left[\frac{\pi L}{\lambda_L} \sin \alpha + \cos \alpha \right] < 0,$$

(在 $\alpha < \frac{\pi}{2}$ 时)。

故 $\alpha = \tan^{-1} \frac{\pi L}{\lambda_L}$ 时得加速度最大值

$$\partial_{\max} = \left(\frac{d^2A}{dt^2} \right)_{\max} = \frac{H\sigma^2}{2} \left[\frac{\pi L}{\lambda_L} \sin \left(\tan^{-1} \frac{\pi L}{\lambda_L} \right) + \cos \left(\tan^{-1} \frac{\pi L}{\lambda_L} \right) \right]$$

$$= \frac{H\sigma^2}{2} \left[\frac{\sqrt{\pi^2 L^2 + \lambda_L^2}}{\lambda_L} \right] = \frac{H\sigma^2}{2} \left[\sqrt{\left(\frac{\pi^2}{\lambda_L}\right)^2 + 1} \right]$$

$$= \frac{H\sigma^2}{2} \sqrt{\left(\frac{10}{\lambda_L}\right)^2 + 1}$$

綜上所述，对給定的漁船，按产生共振的条件，选择起网时最不利的波浪要素，即可求得其艏部最大加速度。

4. 慣性力作用性质

由于起网对船之运动及加速度均为周期函数，故慣性力作用也具有周期变化特征，在船艏摆动的整个周期內，只有运动和加速度同向并且曳網受拉时（即当船艏从最低点向上摆动时）网具或曳網的慣性力才使拖网絞車拉力增加，故这一瞬間慣性力即为波浪中起网时的动力冲击負荷。

在分析拖网絞車在波浪中的拉力时，計入具有冲击負荷特征的慣性力后可将其作为靜力問題处理，而慣性力矢量和阻力、重力等合成后，可得到在波浪中起网时的瞬时最大拉力。

实际起网作业时，因网具的影响，俯仰运动的不对称性更显著，其振幅将减小[16]，我們在計算时忽略网具对摇摆的影响是偏于安全的。

5. 波浪中起曳網时的拉力

設由曳網摆动而产生之慣性力瞬时值为 θ ，

則 $Q = (M + \Delta M)\alpha_{cp}$ ，公斤。

式中：M——曳網质量（悬練部份），公斤·秒²/米；

ΔM ——曳網摆动时附連水质量，公斤·秒²/米；

α_{cp} ——曳網在水中摆动加速度平均值，米/秒²。

曳網在水中摆动加速度实际上由于水阻力的影响，将会大大减少，而其大部份能量轉化为附連水的慣性运动。为了簡化計算，我們同时忽略水阻力影响及附連水质量，这样較能接近于真实情况。

由于曳網很长，可假定在曳網与海底接触处的加速度为 0，艏长滚筒处（或艏滑道处）的加速度为 α_{max} 而呈綫性分布。故 $\alpha_{cp} = \frac{\alpha_{max}}{2} = \frac{H\sigma^2}{4} \sqrt{\left(\frac{10}{\lambda_L}\right)^2 + 1}$

$$\alpha_{cp} = \frac{\alpha_{max}}{2} = \frac{H\sigma^2}{4} \sqrt{\left(\frac{10}{\lambda_L}\right)^2 + 1}$$

令 T_{BB} ——在波浪中工作时拖网絞車拉力。公斤。

受力情况如图 14。故得

$$(T'_{BB} - 2R_4) = \sqrt{R^2 + (P + Q)^2}$$

$$T_{BB} = (1 + \epsilon)T'_{BB}$$

式中：P = 2P₂……对拖作业时。

P = 2P'₂ + 2P'₃……艏拖底曳作业及中层拖网时。

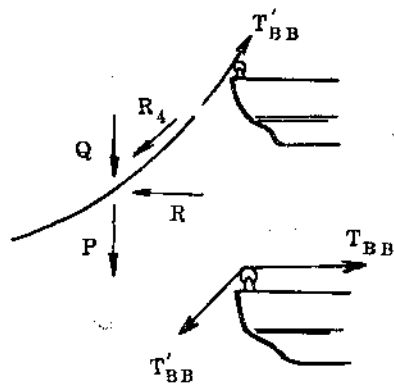


图 14 波浪中起曳網时受力图

$R = R_1 + R_2 + 2R_3 \dots$ 对拖作业时。

$R = R'_1 + R'_2 + 2R'_3 + 2R'_4 \dots$ 艮拖底曳作业时。

$R = R'_1 + 2R'_2 + 2R'_3 \dots$ 艮拖中层拖网时。

6. 波浪中网具开始离开海底时的拉力

起网具时因网在艮部，假定其与船艮同时摆动（实际上因有水阻力影响其摆动与船之俯仰有一相位差，且其摆幅要小些）并忽略附连水质量。

则
$$Q' = M' \left(\frac{d^2 A}{dt^2} \right)_{\max} = M' \theta_{\max}$$

Q' ——网具摆动之惯性力，公斤；

M' ——网具质量，公斤秒²/米。

故拖网绞车拉力 $T'_{BT} = Q' + P' + R'$ 。

P' 、 R' 见静水中各种作业的相应计算值。

$$T_{BT} = (1 + \epsilon) T'_{BT}$$

五、结论和建议

通过对拖网绞车在静水和波浪中拉力的分析，可得出下面几点结论和建议：

1. 拖网绞车拉力作用特征，可从下面示意图（图15）中看出，在选择拖网绞车许用应力时参考。

2. 静水中拖网绞车拉力主要决定于网具规格和起网速度。波浪中起网时还特别受渔船尺度及相应的波浪要素影响。而对拖渔船停车起网是合理的，在不增加拉力的条件下船后退可以提高起网速度。

3. 起网速度对于拖网绞车拉力值影响颇大，起网时网具水阻力 R_1 及曳纲水阻力 R_4 均与起网速度平方成正比（忽略船后退速度）二者共占总阻力 80% 以上，以同样的网具，起网速度变动时水阻力变动百分比如下：

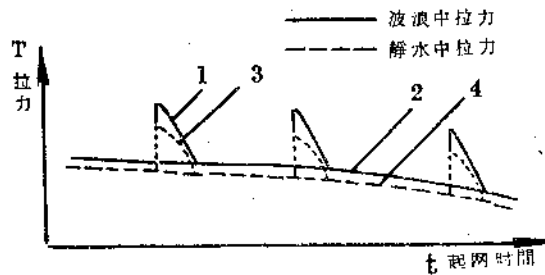


图 15 拖网绞车拉力特征

图中：曲线 1. 波浪中网具离开海底时之拉力；
曲线 2. 静水中网具离开海底时之拉力情况（由于抽网拉上甲板而逐渐减小）；
曲线 3. 波浪中起曳纲时之拉力；
曲线 4. 静水中起曳纲时拉力（由于曳纲不断缩短而使拉力下降，到悬索网形状改变时又上升）。

起网速度 V (米/分)	40	50	60	70
V^2 (米 ² /秒 ²)	0.44	0.69	1	1.36
水阻力 $R_1 = KV^2$ (公斤)	100%	157%	228%	310%

起网速度 V (米/分)	40	50	60	70
起网时间 t	100%	80%	67%	57%

在起网速度提高后，网具水阻力会成倍增长，使拖网绞车功率与起网速度的三次幂几乎成比例增加。但起网速度提高，对收绞同样长度的曳纲，所需时间将大为缩短，从而节约了起网时间，增加投网次数。设曳纲长度一定则起网速度从 40 米/分提高到 70 米/分时，起曳

網時間約可節省一倍。見上頁右表。

而起網速度的選擇，同樣是一個複雜的問題，從國外拖網絞車平均速度看，隨作業海区、作業方式和網具規格不同而頗為懸殊。日本單拖漁船取為 30—40 米/分^[17]，蘇聯中型拖網漁船為 40 米/分，大型拖網漁船一般為 60—65 米/分^[18]，法國電動拖網絞車標準系列定為 60 米/分^[19]，近年來歐洲艦拖漁船之起網速度更有高達 75—100 米/分者。大致趨勢為近海單拖漁船起網速度偏低，而對拖底曳漁船因同樣作業深度其曳綱要長得多，故起網速度較高。遠洋及中層拖網的起網速度則正在逐漸提高。

今後在編訂拖網絞車系列時，起網速度應從下述幾方面來全面考慮：（1）按照捕撈對象及作業要求來選擇起網速度；（2）從經濟上考慮，起網速度決定了起網時間長短，從而影響到每天投網次數；（3）決定於拖網絞車功率大小，影響漁船初建費用；（4）取決於網具及曳網的強度，由於提高速度相應地增加了網具的重量，因此過高地提出起網速度的要求是片面的。從目前使用的網具規格來看，生產實踐和理論計算表明對拖漁船起網速度為 50—60 米/分是適宜的。

4. 為了充分利用拖網絞車功率，設計時必須考慮分級或無級調速，按本文分析及對實船試算結果，對拖漁船一般在靜水中起曳綱或網具時拉力相近，數值較小。波浪中起曳綱時拉力較大，而波浪中起網具時拉力最大，正確地選定拖網絞車功率後，可以按不同受力情況，使速度能分檔調節，以充分利用其額定功率。具體數值可按定型船舶及所配置網具分別計算後確定之。

5. 網具重量對拖網絞車拉力有重要意義。採用合成纖維網，不但可減少拖網阻力，提高拖速，而且可以大大降低波浪中起網時慣性力。

6. 拖網絞車額定拉力不應按波浪中起網時之拉力來選擇，如果配置如此大的功率並不經濟，在正常作業時功率儲備也過大。實際作業中往往在大風浪中起網時，視受力度適當停車或放出曳綱以降低絞車拉力。此時起網速度為零，網具水阻力極小，故波浪中最大拉力 $T'_{DT} = Q' + P'$ ，可小於波浪中起曳綱時之拉力。在捕撈作業時經常遇到的是介於靜水和共振波浪之間的海況，且起網時間中收絞曳綱所化時間最多，因此建議絞車額定拉力取為靜水和波浪中起曳綱時拉力的平均值，即 $T_{\text{HOP}} = \frac{T_B + T_{BB}}{2}$ 。波浪中網具離開海底時拉力 T_{BB} 作為其

“停滯拉力”（或稱為“失速拉力”），在此拉力作用下，拖網絞車掣動器須承受此一負荷，而離合器可以打滑，或者設計一套自動裝置，在達到此負荷時能自動鬆出曳綱。拖網絞車破壞拉力建議取為兩根曳綱破斷拉力之總和。

7. 本文所述的分析方法，同樣可以用來決定漁撈甲板附件（如網板架、導向滑輪等）所承受的外載荷數值。

因掌握的實測數據有限、又限於水平、錯誤或不當之處難免，希指正。感謝袁隨善工程師在選寫本文時的指導和幫助。

參 考 文 獻

- [1] 袁隨善，——。“海船耐波性”，中國造船 46 期。
 [2] 汪炳祥，“新型風浪譜及其應用”。海洋與湖沼 4(3—4)。

- [3] 勃拉哥維新斯基著, 金柱青等譯, “船舶原理手冊”。
- [4] 上海水产学院1964, “拖网理論与捕鱼技术”。
- [5] 叶窠亲正, “网具測定論”。
- [6] 稻村桂吾, “海船論”。
- [7] “Fishing boats of the World I - (Design of trawlers-Discussion)” (1960).
- [8] Н.М. Сабурекон, 1959. “Исследование работы Траловых лебедок”
- [9] Van Lammeren, Troost and Koning, 1953. “Resistance, propulsion and steering of ships”.
- [10] G. Hughes, 1930. “Model experiments on the Wind resistance of ships”, TINA.
- [11] Ф.И. Баранов, 1960 “Теория и расчёт орудия рыболовства”.
- [12] В.А. Домуховский, “О Величинах и Характере Нагрузок На Траловых лебедках Траулера с Кормовым Тралением”, реф. журнал Судостроение 13 л 36.
- [13] Н. Miyamoto, 1957. “On the relation between Otter trawl gear and towing Power”, Modern fishing gear of the World.
- [14] И.Р. Матросов, 1961 “Теоретические основы для расчёта движения судна с Тралом”, Рыбное Хозяйство No 6.
- [15] G. Vossers, “Fundamentals of the behaviour of ships in wave” .
- [16] A. J. Sims, 1956. “The Pitching and heaving of ships” TINA.
- [17] О.Н. Саковец, 1956. “Влияние качки Корабля На Нагрузку Васров Трала”, Рыбное Хозяйство, No 5.
- [18] Н.И. Борисов, “Механизация речного, Озерного и Ловского рыболовства”.
- [19] M. Graftianx, 1955. “Electric drive for trawl Winches”, Fishing boats of the World I.

附录1 400馬力漁船試捕情况核算

(一) 試捕情况

此次試捕系承造厂为研究电力拖动問題而进行之实船試测, 对拖試捕时的风力7級, 获魚2000公斤, 平均起网速度42米/分。起网过程中正常时电流值60安培, 最大工作电流100—120安培, 起网过程中, 曾产生一次类似振盪現象, 观察結果恰与风浪頻率一致, 此时之振盪电流值未测得^[1]。

(二) 相应于电流值时之拖网绞車拉力計算

由于試捕时并未記錄各瞬时速度和电流值, 也缺乏船后退速度及拖网深度記錄, 故只能近似核算, 作为参考。

拖网绞車电动机額定电流为14安培, 电压为360伏, 电动机效率为0.85 額定功率为43千瓦(58馬力) 拖网绞車設計拉力为4吨, 綫速度为1米/秒, 則绞車效率为

$$\eta = \frac{4000 \times 1}{75 \times 58} = 78.5\%$$

在工作电流为60安培及120安培时, 相应之电压按电气外特性曲綫决定为410伏及376伏。

$$\text{故 60 安培时功率 } P = \frac{60 \times 410 \times 0.85}{1000} \times \frac{100}{73.6} = 28.4 \text{ 馬力。}$$

$$\text{120安培时功率 } P = \frac{120 \times 376 \times 0.85}{1000} \times \frac{100}{73.6} = 52 \text{ 馬力。}$$

60 安培相应之拖网绞车拉力 $T = \frac{P \times 75 \times \eta}{V} = \frac{28.4 \times 75 \times 0.785}{0.7} = 2400$ 公斤。

120 安培时之拖网绞车拉力为 $T = \frac{P \times 75 \times \eta}{V} = \frac{52 \times 0.785 \times 75}{0.7} = 4400$ 公斤。

$$(V_a = 42 \text{ 米/分} = 0.7 \text{ 米/秒})$$

(三) 按静水中拉力值计算网阻力系数 K

考虑 60 安培时之拉力为静水中起曳网之拉力，则 $T_b = 2400$ 公斤起网速度 $V_a = 0.7$ 米/秒。

曳网规格为 $\phi 20$ 纲索 305 米，水中重 0.99 公斤/米，空气中重 1.3 公斤/米。及 $\phi 36$ 夹棕绳 3~5 米，水中重 0.68 公斤/米，空气中重 1.68 公斤/米。

拖网深度 H 按下式：

$$l_n = 630 \text{ 米} = 5H + 450 \pm 75. \quad H = 50 \text{ 米。}$$

悬练部分曳网长度

$$l_A = \sqrt{\frac{2 \cdot \frac{T_b}{\omega} H}{2} - H^2}, \quad \omega \text{ 取 } 0.94 \text{ 公斤/米}$$

$$= \sqrt{\frac{2400 \times 80}{0.94} - 80^2} = 355 \text{ 米。}$$

故曳网阻力 $R_1 = Kl_A dV_{TB}^2 = 3(305 \times 0.020 \times 0.45^2 + 50 \times 0.036 \times 0.45^2) = 5$ 公斤

沉子网摩擦阻力 $R_2 = f_2 G_2 = 294 \times 0.35 = 106$ 公斤。

海底部分曳网阻力 $R_3 = f\omega(l_B - l_A) + K(l_B - l_A)dV_{TB}^2 = 0.35 \times 0.68 \times 275 + 3 \times 275 \times 0.036 \times 0.45^2 = 65.5 + 7.9 = 73.4$ 公斤。

上式中 V_{TB} 值，因系在 7 级风情况下作业，后退速度大致不超过 15 米/分，即 $V_c = 0.25$ 米/秒。

故 $V_{TB} = V \sin \theta - V_c = 0.7 \sin \theta - 0.25 = 0.45$ 米/秒。

曳网在水中重量 $P_2 = 305 \times 0.99 + 50 \times 0.68 = 336$ 公斤

按 $(T_b - 2R_1)^2 = (KV_{TB}^2 + R_2 + 2R_3)^2 + (2P_2)^2$ 。

即 $(2400 - 2 \times 5)^2 = (0.45^2 K + 106 + 146.8)^2 + 672^2$

$$(0.45^2 K + 252.8)^2 = 570 \times 10^4 - 45 \times 10^4$$

$$K = \frac{2290 - 252.8}{0.203} = \frac{2037}{0.203} = 10000 \text{ 公斤秒}^2/\text{米}^2$$

$$R_1 = KV_{TB}^2 = 10000 \times 0.203 = 2030 \text{ 公斤。}$$

(四) 静水中网具离开海底时拉力

$T_r = P' + R'$ P' ——网具在水中重量。 $R' \approx R_1$

所用网具之网衣重为 380 公斤，下网水中重 294 公斤。

则 $P' = r \times 380 + 294 = 0.33 \times 380 + 29.4 = 421$ 公斤

r 为网衣在水中重量占空气中重量之百分比按^[2]

故 $T_r = 2030 + 421 = 2451$ 公斤。

(五) 波浪中最大加速度 (綫长滚筒处) 计算

按 400 馬力漁船, 吃水 $T=2.90$ 米, $\delta=0.477$, $\alpha=0.736$, 船長 $L=35$ 米。

$$\text{縱搖及起伏自搖周期 } T_{\phi} = T_{\varepsilon} = 2.8 \sqrt{\frac{\delta}{\alpha} T} = 3.85 \text{ 秒}$$

$$\text{故共振波長 } \lambda_L = 6.25 T_{\phi}^2 = 92.7 \text{ 米。}$$

$$\text{共振波高 } H = \frac{1}{16.4} = 5.65 \text{ 米。}$$

$$\text{波速 } C = 1.25 \sqrt{\lambda_L} = 12 \text{ 米/秒, 波長周期 } \tau = \frac{\lambda_L}{C} = 7.7 \text{ 秒}$$

$$\text{波浪頻率 } \sigma = \frac{2\pi}{\tau} = 0.815$$

$$\begin{aligned} \text{最大加速度 } \alpha_{\max} &= \frac{H\sigma^2}{2} \left[\sqrt{\frac{10}{\left(\frac{\lambda_L}{L}\right)^2} + 1} \right] = \frac{5.65}{2} \times 0.815^2 \left[\sqrt{\frac{10}{2.65^2} + 1} \right] = \\ &= 1.865 \sqrt{2.43} = 1.865 \times 1.56 = 2.91 \text{ 米/秒}^2 \end{aligned}$$

(六) 波浪中起曳網時之拉力

$$\begin{aligned} \text{故 } Q &= M \alpha_{\phi} = \frac{M}{2} a_{\max} \\ &= 960 \times \frac{2.91}{2} = 1395 \text{ 公斤} \end{aligned} \quad (\text{曳網質量 } M = 2(1.3 \times 305 + 1.68 \times 50) = 960 \text{ 公斤秒}^2/\text{米})$$

$$\begin{aligned} (T_{\text{net}} - 2R_1) &= \sqrt{(R_1 + R_2 + 2R_3)^2 + (2P_2 + Q)^2} \\ (T_{\text{net}} - 23) &= \sqrt{(2030 + 106 + 146.8)^2 + (672 + 1395)^2} \\ T_{\text{net}} &= \sqrt{2283^2 + 2067^2} + 23 = 3105 \text{ 公斤} \end{aligned}$$

(七) 波浪中網具离开海底時之拉力

$$Q' = M' \alpha_{\max}$$

M' ——網具質量 = 下網空氣中重量 + 網衣重量 = 1035 公斤

$$\text{故 } Q' = 1035 \times 2.91 = 3015 \text{ 公斤}$$

$$T_{\text{net}} = Q' + R_1 + P_1 = 3015 + 2030 + 227 = 5272 \text{ 公斤}$$

(八) 从核算結果和实測比較来看 在波浪中起曳網終了時, 悬綫綫逐漸改变, 其計算拉力可能接近于 120 安培時之拉力值, 而波浪中起網具時之拉力值可能为瞬时振盪電流值, 但因試捕時主要并不是为拖网絞車拉力試驗, 各种数据均較缺乏, 故只能供参考, 誤差較大。

附录 2 270 馬力漁船拖网絞車額定拉力估算

270 馬力漁船考虑采用导流管, 其推力較原 250 馬力混合式为大。現設計拖网曳水深度为 80 米, 起网速度取为 55 米/分, 对拖作业时船后退速度平均情况为 $V_0 = 20$ 米/分, 曳網規格也为 $\phi 20$ 網索及 $\phi 36$ 夾棕繩。

(一) 静水中起曳网时拉力

拖网水深 80 米 = H

曳网总长度 $l_n = 5H + 450 \pm 75 = \text{取} = 850$ 米。

先假定静水中曳网拉力为 4000 公斤

起网速度 $V_n = 55/60 = 0.91$ 米/秒。

决定悬索部分曳网长度 $l_A = \sqrt{2 \cdot \frac{T_n \cdot H}{\omega} - H^2}$ ， ω 试取 0.84 公斤/米。

$$\text{则 } l_A = \sqrt{\frac{4000 \times 80}{0.84} - 80^2} = 612 \text{ 米。}$$

$$V_{Tn} = V_n \sin \theta - V_c = 0.91 \sin \theta - \frac{20}{60} \approx 0.58$$

故曳网阻力 $R_1 = Kl_A dV_{Tn}^2 = 3(305 \times 0.020 + 307 \times 0.036) \times 0.58^2 = 3 \times 19.4 \times 0.58^2 = 19.6$ 公斤

沉子网摩擦阻力 $R_2 = fG_s = 294 \times 0.35 = 106$ 公斤。

海底部分曳网阻力 $R_3 = f \omega (l_B - l_A + K(l_B - l_A)) dV_{Tn}^2$

$$= 0.35 \times 238 \times 0.68 + 3 \times 278 \times 0.036 \times 0.58^2 = 56.6 + 8.7 = 65.3 \text{ 公斤。}$$

网具水阻力 $R_4 = KV_{Tn}^2 = 10000 \times 0.58^2 = 3370$ 公斤

曳网在水中重量 $P_2 = 305 \times 0.99 + 307 \times 0.68 = 302 + 209 = 511$ 公斤 (平均为 0.84) 与上述取 ω 相同。

$$\begin{aligned} \text{故 } (T'_n - 2R_1) &= \sqrt{(R_1 + R_2 + 2R_3)^2 + (2P_2)^2} \\ (T'_n - 2 \times 19.6) &= \sqrt{(3370 + 106 + 130.6)^2 + (1022)^2} \\ &= \sqrt{3605.6^2 + 1022^2} = 3750 \text{ 公斤} \\ T'_n &= 3750 + 2 \times 19.6 = 3790 \text{ 公斤} \end{aligned}$$

与原先假定 $T_n = 4000$ 公斤，相差仅 4%，不再重算。

(二) 静水中网具离开海底时拉力

$$T'_n = P' + R' = P' + R_1 = 3370 + 421 = 3791 \text{ 公斤}$$

(三) 波浪中最大加速度 (艙长滚筒处) 计算

270 漁船方案設計吃水。 $T = 2.7$ 米， $\delta = 0.482$ ， $\alpha = 0.743$

故 $T_\Phi = T_Z = 2.8 \sqrt{\frac{0.482}{0.743}} \times 2.7 = 3.7$ 秒，船长 $L = 29.5$ 米

共振波长 $\lambda_L = 6.25 \times 3.7^2 = 85.6$ 米

波高 $H = \lambda_L / 16.4 = 5.22$ 米 $\left(\frac{\lambda_L}{L} = 85.6 / 29.5 = 2.9 \right)$

波速 $C = 1.25 \sqrt{\lambda_L} = 11.6$ 米/秒

波浪周期 $\tau = \frac{\lambda_L}{C} = 7.4$ 秒

$$\text{波浪频率 } \sigma = \frac{2\pi}{\tau} = 6.28/7.4 = 0.85$$

$$\text{最大加速度 } \alpha_{\max} = \frac{H\sigma^2}{2} \left[\sqrt{\frac{10}{\left(\frac{\lambda_L}{L}\right)^2 + 1}} \right] = \frac{5.22}{2} \times 0.852 \times 1.48 = 2.79 \text{ 米/秒}^2$$

(四) 波浪中起曳网时拉力

$$Q = M\alpha_{op} = M\alpha_{\max}/2$$

曳网质量 $M = 2 \times (305 \times 1.30 + 307 \times 1.68) = 1824$ 公斤秒²/米。

$$\text{故 } Q = 1824 \times \frac{2.79}{2} = 2550 \text{ 公斤。}$$

$$T_{BB} - 2R_4 = \sqrt{(R_1 + R_2 + 2R_3)^2 + (2P_2 + Q)^2}$$

$$= \sqrt{3605.6^2 + (1022 + 2550)^2} = \sqrt{25.75 \times 10^6} = 5090 \text{ 公斤}$$

$$T_{BB} = 5090 + 2 \times 19.6 = 5130 \text{ 公斤}$$

(五) 波浪中网具离开海底时拉力

$$Q' = M'\alpha_{\max}$$

$M' = 1035$ 公斤—见附录 1

故 $Q = 1035 \times 2.79 = 2890$ 公斤

故 $T_{BB} = Q' + P' + R = 2890 + 421 + 3370 = 6681$ 公斤。

(六) 结论 按上述计算, 在拖网深度 80 米, 采用 $\times \times \times$ 尼龙网, 起网速度 55 米/分, 对拖作业时

则静水中起曳网时拉力 3790 公斤

静水中网具离底时拉力 3791 公斤

波浪中起曳网时拉力 5130 公斤

波浪中网具离底时拉力 6681 公斤

故建议拖网绞车额定拉力为 $\frac{3790 + 5130}{2} = 4460$ 公斤 ≈ 4500 公斤

拖网绞车停滞拉力为 6700 公斤

拖网绞车破坏载荷为 33000 公斤

(二根 $\phi 20 \times 6$ 股 19 丝纲索破断拉力之和)

参 考 文 献

- [1] 奚庆峯, 徐德浩著, “400 匹渔轮电动拖网机的设计与使用”。造船学会 1962 年年会论文。
[2] “围网参考资料汇编”。上海水产学院编。

AN ANALYSIS FOR THE PULL LOADS OF TRAWL WINCH

Waung Jin-yeau

ABSTRACT

The trawl winch is an important equipment for trawlers. Data for theoretical analysis for its pull load have not been published as yet. In this paper, various factors affecting pull load of trawl winch are being analysed completely. Derived calculation method of pull load for various steps of hauling the trawl net was based on static balance and D'Alembert's principle in calm water and rough-sea. Finally, result of actual ship experiment had been re-calculated by this method. The result of this paper was confirmed and may be designed for practical use and for production of trawl winch.