

研究简报

拖网设计计算机软件的研制

王尔光

(海工系)

Computer Aided Design of Trawl

Wang Erguang

(Marine Fisheries Department)

关键词 程序, 优化, 拖网, 阻力

中图分类号 S972.13

拖网是众多渔具中应用最广泛、生产效能较高的渔具,因此拖网设计是渔业工程技术人员的一项重要工作。但长期以来拖网设计都是靠手工完成,计算繁琐复杂,并且只有通过模型试验才能展现其形状,设计周期长,不便于各种参数的优化选择,给设计者增加了相当的难度和诸多不便。随着科学技术的发展,电子计算机技术已开始进入了渔业生产的某些领域,利用计算机解决渔业生产上一些复杂问题,越来越被人们所认识。因此,本文利用电子计算机在绘图、计算,优化选择上的优势,对拖网设计作了初步尝试。本文研究意在侧重于利用电子计算机进行拖网设计上,而对现行拖网设计方法暂不作为本文研究的重点。只在局部处理方法上作了一些改进。本设计具有速度快,便于优化选择参数并展现其形状,最终自动打印出设计网图的特点,方便实用。计算机设计拖网的总体步骤是首先进行网具工作状态理想形状的构思设计,然后根据这一构思设计图,由确定的网目大小及网线直径,缩结系数等,进行网具各部分周边目数,斜率的计算,并利用椭圆积分计算拖网总阻力与给定马力应有的有效拖力相比较,如能匹配则最终印出设计网图。

1 拖网规模及理想形状的构思设计

任何网渔具的捕捞效果,都取决于网具在水中的形状,所以渔具设计者在设计初期都要根据渔船马力,捕捞对象,捕鱼原理、资源与渔场等情况,构思设计网的规模及理想形状。当然网具工作状态的形状很大程度取决于外力系统,但网具自身各部分的尺度、规格也是个先决条件。因此本设计首先从网具自身的规模出发,在外力平衡状态下构思拖网的理想形状。

1.1 拖网规模的确定

渔具的规模主要取决于渔船的马力,根据目前在拖网设计中的经验作法⁽¹⁾,网口周长与渔船马力有如下关系

本文于1990年9月4日收到。

$$C = \alpha N^b \quad (1)$$

式中： C 为网口周长(拉直长度)， α 、 b 为由各渔场、各公司统计出的经验常数， N 为渔船的马力。在程序设计中， α 、 b 、 N 均采用键盘输入的形式，可根据渔船的大小及各地的实际情况来改变。网口拉直周长确定后，可由确定的缩结系数算出缩结周长。并根据以往模型试验观察看出，拖网网口及网身断面形状均近于椭圆，故本设计也按此考虑。因此只要设定出长短轴比例，就可由网口周长计算出网口椭圆长、短半轴长度。令 A 为拖网网口长半轴， B 为网口短半轴， U_1 为水平缩结系数， U_2 为垂直缩结系数， T 为断轴与常轴之比。则，

$$A = C \cdot U_1 / \pi (0.5 + 0.5T + \sqrt{(1 + T^2)/2}) \quad (2)$$

$$x = A \cos t \quad (3)$$

$$y = B \sin t \quad (4)$$

设计者只要确定缩结系数及短、长轴比例，将 U_1 及 T 由键盘输入后，屏幕上即可绘出网口椭圆图象，然后再根据各地以往经验及捕捞对象，设计要求等，确定网翼、天井网、网身、网囊各自占网口周长的比例，则网具总长度(缩结状态)可定出，而网具的肥瘦度(横的宽度)则由网口椭圆两端开始向上、向下绘出的理想曲线来定。

1.2 拖网理想形状确定

拖网工作状态的形状主要取决于上下纲形状、袖网侧边(大缝边)形状、身网侧边曲线形状、断面形状等。根据实际生产经验、模型试验的观察及照片、捕鱼原理(有利诱导鱼群入网)、力学特性等诸多因素的综合考虑，本设计拟确定上、下纲为悬链线、网袖侧边为悬链线的一部分(见图1所示)。即

$$y = F / \cos \theta \quad (5)$$

$$\text{或} \quad y = F \operatorname{ch}(X/F) \quad (6)$$

F 为悬链线参数，若变动 F 及角 θ 则会改变悬链线弯度及长度，可根据设计者的要求随时调整。对于网身侧边曲线，经对各规格实物网及模型试验照片的统计结果，均满足如下方程式。

$$r = \pm .1e^{Dr} \quad (7)$$

$$(y \leq 0, D > 0)$$

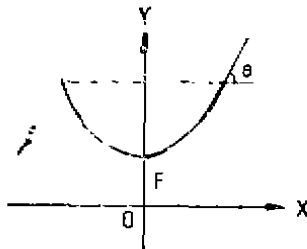


图1 上、下纲悬链线

D 为由不同网身侧边而定的常数，变动 D 值则改变网身侧边曲线的斜率及形状(见图2)。这样，由键盘输入 F 、 θ 、 D 、 N 、 T 等参数以及各部分占网口周长比例值后，计算机即可绘出构思设计总体图。

如图3所示，其中(1)、(2)、(3)图体现了取不同 D 值所得的网身侧边曲线，(4)、(5)、(6)图体现了取不同悬链线(变 F 、 θ)时网口张开情况。在设计时要注意网袖大缝边悬链线与网身侧边的曲线连接，使之相互协调，曲线的光顺并保持网口的适当张开。

2 计算拖网理想形状构思图各部分尺度

经有关参数的不断调整，确定出拖网工作状态理想形状构思图，并以此作为处理平衡状态，缩结后的网具大小及形状。由该图可计算出各点的坐标，进而计算出拖网各部位的线尺

度（缩结长度）。并按网身各节长、短半轴的长度，计算出各节的周长。

$$C_1 = \pi \left[(A+B) / 2 + \sqrt{(A^2+B^2) / 2} \right] \quad (8)$$

式中： C_1 为网身各节断面周长（缩结），由各节的长、短半轴 A 、 B 确定。

3 缩结系数

拖网的缩结实际上是靠网口结扎在上、下纲上完成的，而其它部分是受网口结扎的影响以及水流冲击下形成的缩结。由拖网模型试验观察到水平缩结系数从网口到网身最后一节变动范围大体为0.4~0.2，并观察到网身后几节的网衣过于密集，这一结果显然并非为防止进网鱼逃脱而必须的网衣密度，而只能不利网具的滤水

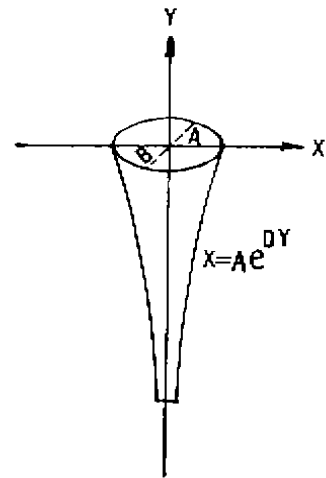


图2 网口椭圆及身侧边曲线

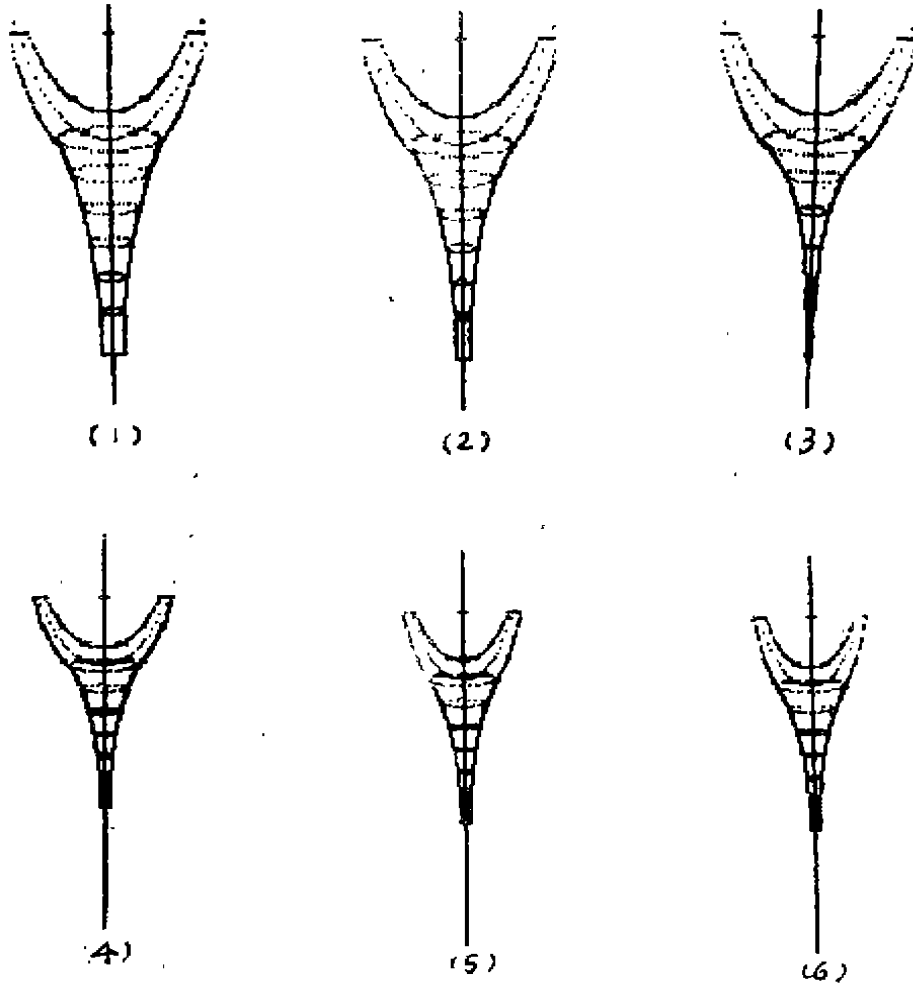


图3 拖网结构设计总体图

性、增大阻力,浪费网衣。因此本设计拟定采取与网口统一的一个缩结系数,以此来计算各部分网衣数量,这样对减小阻力,节约材料,降低成本,都是十分有益的。

4 网目大小与网线粗度

网目大小及网线直径可按常规的设计方法来确定,暂不作本文专门研究的内容。即网目大小要满足滤水性能好,尽量减小阻力,又要根据捕捞对象使其既不能刺入网目,又不能从网眼逃掉,并按网翼、天井网网眼大些,网身之后逐渐减小的原则来安排。而网线直径的选择主要是在满足网衣具有足够强度的前提下,粗度为越细越好,可减小阻力,降低成本,本程序中网目大小,网线直径均采用键盘输入形式,灵活选用。

5 各部分网衣周边目数计算

本文由第二项计算出的构思图各部分尺度作为网具缩结尺寸,并按全网一个缩结系数计算出各部分拉直长度,进而由确定的网目大小计算出各部分网衣的周边目数。

$$\text{即} \quad 2m = l/2aU_1 \quad (9)$$

$$n = H/2oU_2 \quad (10)$$

式中: m 为网衣宽度目数 l 为网衣缩结宽度, n 为网衣高度目数, H 为网衣缩节高度, a 为网目单脚长。

6 斜率计算

根据以上计算出的各部分网衣的目数及尺度,即可计算出拖网各部位的斜率。本文除按常规计算出网图斜率(实为拉直斜率)外,还考虑到计算阻力时的需要,又计算出网具缩结状态下的斜率,具体算法从略。

7 阻力计算

拖网的阻力计算是拖网设计的重要环节,它将直接关系到设计网与马力能否匹配及至设计的成败。目前关于拖网的阻力计算已有许多方法,但均有一些不完善之处。用拖网阻力经验公式计算,往往只限于某种网型或只能在一定范围内使用,特别是用国外网型经验公式计算我国拖网阻力更为不适。再一种方法是由网图直接进行计算,即将各部分网衣看作平面网片,按田内公式计算再叠加起来,这种方法更是误差较大。其原因是拖网工作状态网衣呈曲面,各点与流冲角是相互不同的,再者田内公式的建立是在三十年代利用棉线材料网片,缩结均为(正方形)状态下进行实验建立起来的公式,所以误差较大。为解决以上问题,使拖网阻力计算更能与实际相符,在本设计程序中的拖网阻力计算,采用了目前国内外关于平面网片阻力的最新研究成果作为基础公式。

$$\text{即} \quad R_o = \frac{1}{2} C_o \rho S F_o U^2 \quad (11)$$

$$R_{\theta 0} = \frac{1}{2} C_{\theta 0} \rho S F_0 V^2 \quad (12)$$

$$R_{\theta} = \frac{1}{2} C_{\theta} \rho S F_0 V^2 \quad (13)$$

式中： R_{θ} 、 $R_{\theta 0}$ 、 R_{θ} 为分别表示网衣与流平行、垂直、成任意冲角 θ 时的阻力(N)， ρ 为流体的密度(kg/m^3)， S 为网衣缩结面积(m^2)， V 为拖网运行速度(m/s)， C_{θ} 、 $C_{\theta 0}$ 、 C_{θ} 分别为网片与流平行、垂直、成角 θ 时的阻力系数， F_0 为网片中网线的密度， d 为网线直径， T 为缩结系数。

$$F_0 = d/a \cdot T_1 \cdot T_2 \quad (14)$$

关于网片与流平行时的阻力系数 C_0 ，采用本人在日本东京水产大学利用水槽及断面为机翼型框架，测试27种规格网片建立的经验公式⁽²⁾。即

$$C_0 = 0.11 U_1 / \sqrt{F_0} \quad (15)$$

关于网片与流垂直时阻力系数 C_{90} ，采用苏联弗利德曼研究成果⁽³⁾。即

$$C_{90} = 3(R_0^\lambda)^{-0.07} \quad (16)$$

$$R_0^\lambda = \frac{V \lambda}{\gamma} \quad (17)$$

$$\lambda = a \cdot U_1 \cdot U_2 / 2 \quad (18)$$

中其， R_0^λ 为以 λ 为特征长度的雷诺数， γ 为运动粘性系数。关于网片与水流成 θ 任意角度 θ 时的阻力系数 C_{θ} ，按田内关于网片水动力的理论分析所得出的结论⁽⁴⁾。

$$C_{\theta} = C_0 \cos^2 \theta + C_{90} \sin^2 \theta \quad (19)$$

利用以上基础公式，将拖网分为网翼、天井、网身、网囊四部分计算，其中网翼、天井、网囊可近似为平面网片进行计算，而网身部分根据实际情况，均可视为椭圆锥形，可按本人试验研究结果进行计算⁽⁵⁾。其基本原理是在椭圆锥面上取微面积 dS 网片(见图4)，在极限状态下可视为平面，则利用平面网片基础式(13)、(19)可写出其阻力 dR 为：

$$dR = \frac{1}{2} (C_0 \cos^2 \theta + C_{90} \sin^2 \theta) \rho F_0 dS V^2 \quad (20)$$

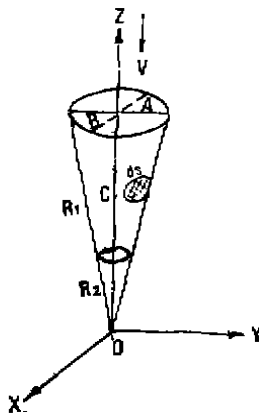


图4 网身椭圆锥网阻力计算示意图

对上式进行曲面积分⁽⁶⁾，即可得出整个椭圆锥网衣的总阻力。则，

$$R = A \cdot B \cdot \rho V^2 F_0 \left\{ (C_0 \sqrt{B^2 + C^2} / B) E + (BC_{90} - BC_0) \cdot F / \sqrt{B^2 + C^2} \right\} \quad (21)$$

其中，

$$F = \int_0^{\pi/2} \frac{d\theta}{\sqrt{1 - K^2 \sin^2 \theta}} \quad (22)$$

$$E = \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 - K^2 \sin^2 \theta} d\theta \quad (23)$$

$$K = \frac{C}{A} \sqrt{\frac{A^2 - B^2}{B^2 + C^2}} \quad (24)$$

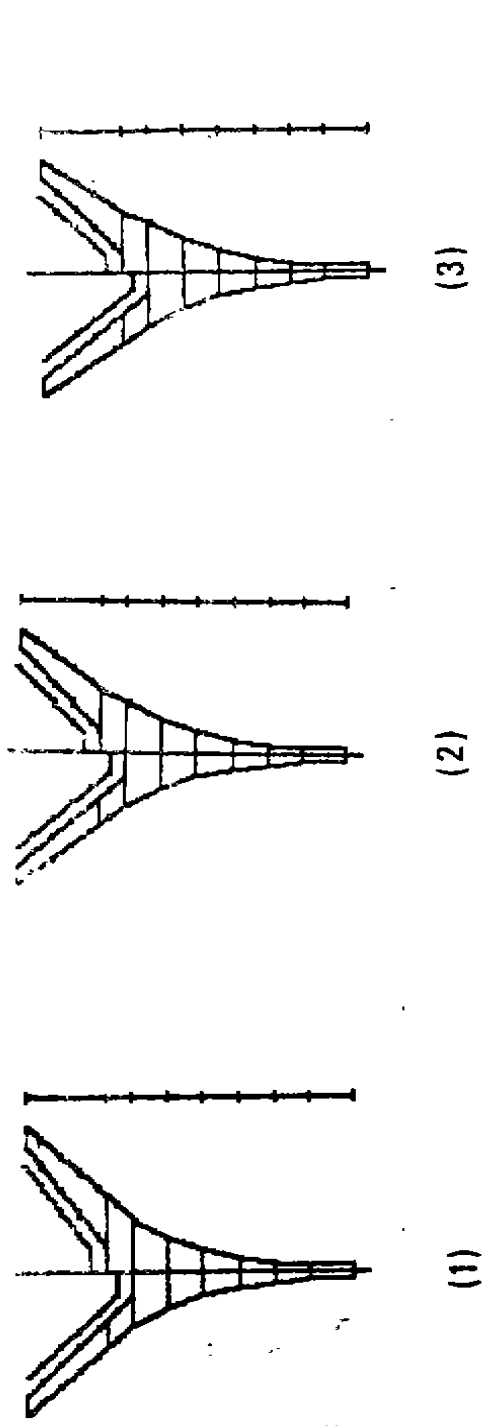


图6 图计算机软件拖网设计图

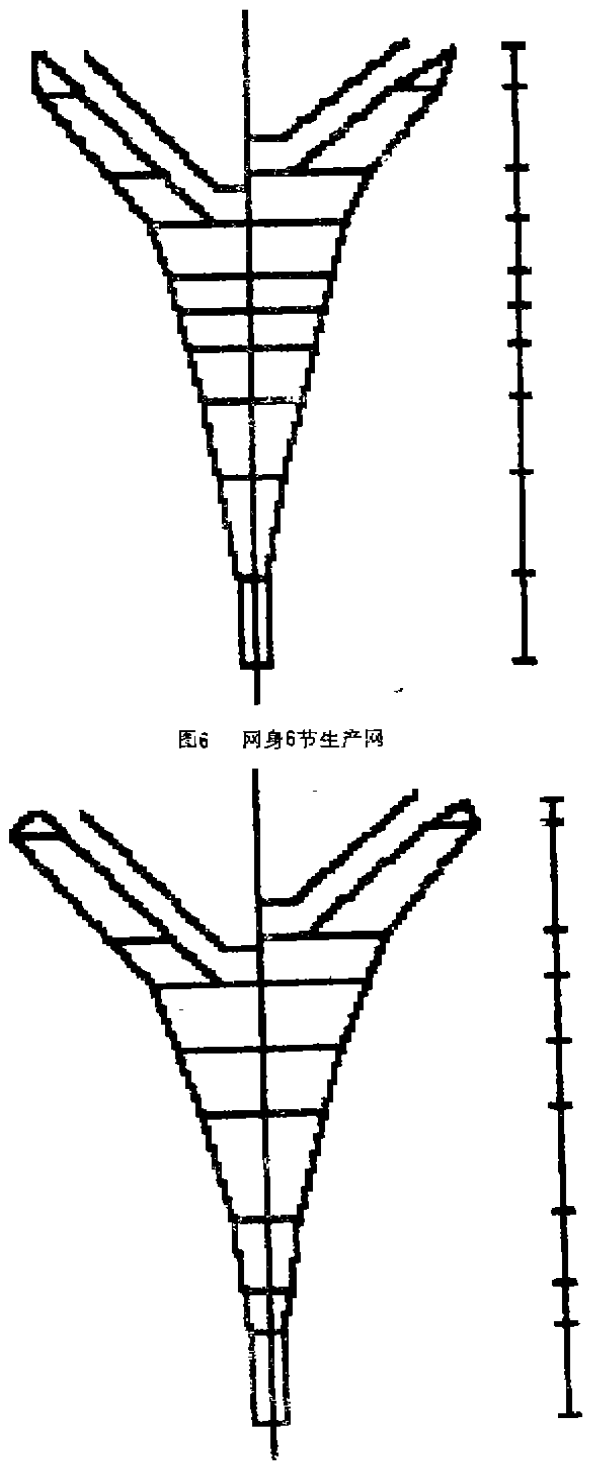


图7 辽大水生产网
(1200□×117mm)

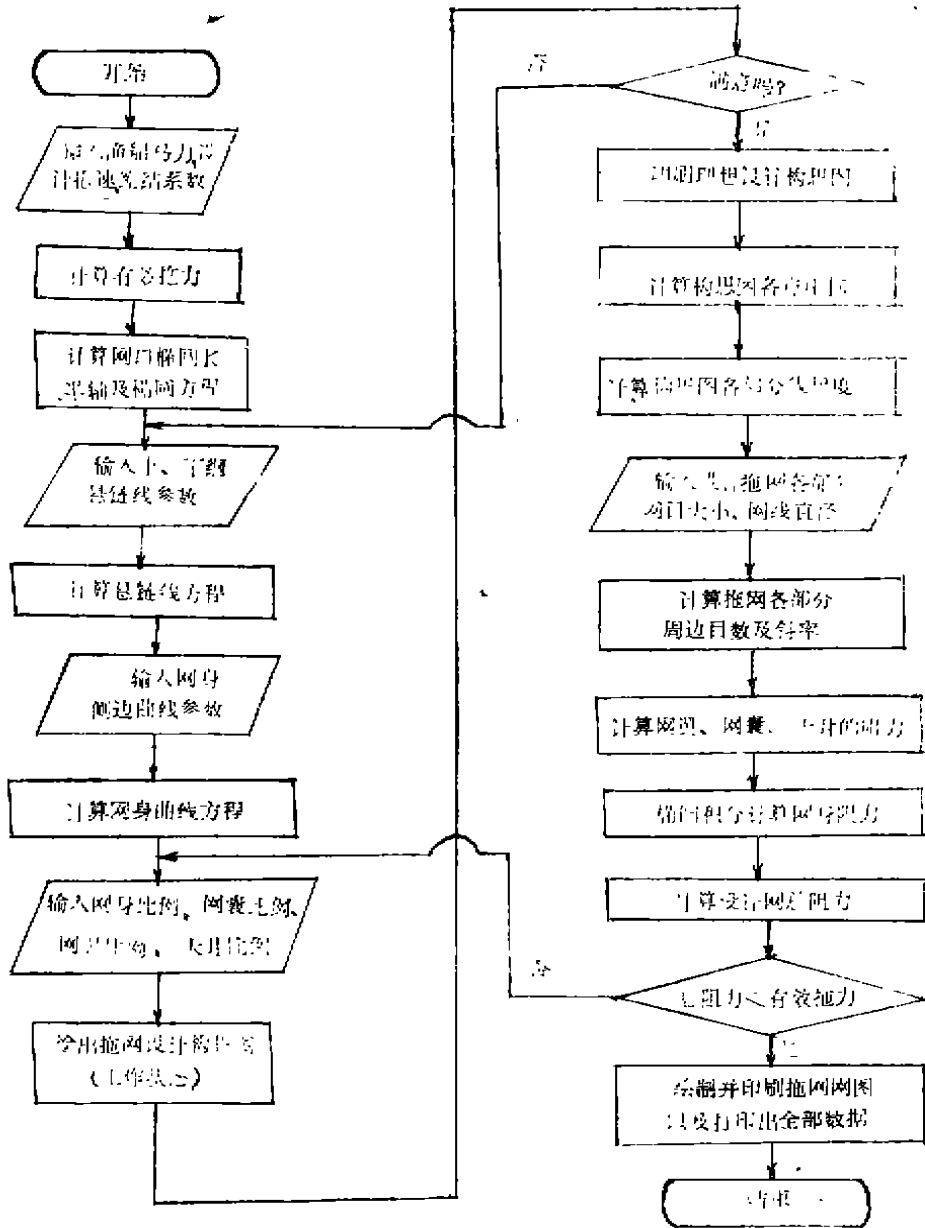


图 8 拖网设计计算机软件程序框图

式中： A 、 B 、 C 分别为椭圆锥体的长半轴、短半轴及锥体高度， F 为第一类完全椭圆积分， E 为第二类完全椭圆积分， E 与 F 均式可由 K 值查椭圆积分表得到，但本设计利用计算机的优势，在程序中采用数值积分方法直接算出 (σ) 。令 R_1 为以网口为底的椭圆锥网路的阻力， R_2 为以网身末端椭圆为底的椭圆锥网阻力，则网身部分的阻力 R 为：

$$R \approx R_1 - R_2 \quad (25)$$

再将网身的阻力与天井网、网翼、网囊阻力叠加，并注意到纲索、浮沉子及其它属具的阻力，再增加适当比例(20%~30%)的阻力即可作为全部网具的阻力。

8 绘制网图

由以上各项完成了网具全部设计并核实网阻力与马力匹配后，即可自动绘制并印出真正的网图(见图5)。图中(1)、(2)、(3)分别由图3中(4)、(5)、(6)构思设计图进行计算得到的(600HP1200◇)，考虑到标注目数及尺寸会使网图混乱，故各部分尺寸、目数均另行打印出。图6和图7分别为网身6节和网身5节的真正生产网，利用本软件最终绘图部分绘出的网图，显然与从构思设计图得到的网图大体相近。当然设计构思图是可根据设计者的需要任意调整的，图的结果并非一定是最佳状态。设计网的好坏最终还取决于设计者的经验、理论基础及其它能力，而计算机只是给设计提供了方便和可能。考虑到软件的专利，对本设计的具体程序从略，仅以框图作一总体说明(见图8)。

利用电子计算机设计网具，在我国还是个新课题、本人也仅仅是初步尝试，加之渔具设计的复杂性，变量参数的繁多，故仍有许多难以处理的问题需要进一步研究解决。尽管如此，通过本文的工作，笔者已深深体会到计算机在渔具设计上的许多优势，是大有前途和希望的。

参 考 文 献

- 1 黄锡昌. 海洋捕捞手册, 北京: 农业出版社, 1990: 380~382
- 2 王尔光. 日本水产学会志, 1987, 54(1): 9~15
- 3 弗利德曼(苏). 渔具理论与设计, 1988: 40~45
- 4 田内森之郎. 水产物理学, 134: 58~679
- 5 王尔光. 海洋渔业, 1988, 10(3): 110~114
- 6 清华大学数学教研室编. 高等数学(下册), 1964: 740~790
- 7 华南工业学院编. 电子计算与算法语言, 1978: 384~400