

拖网模型试验小尺度雷诺相似 准则的理论探讨

陈明义
(厦门水产学院)

提 要

本文从理论上探讨拖网模型试验的相似准则。首先分析现有相似准则的理论前提中存在的二个问题,然后提出一种以拖网网体的小尺度雷诺相似为基础的准则。这一准则与现有准则有二个主要的不同点:(1) 现有准则假定网具阻力与速度平方成正比,亦即阻力系数是常数 K 与雷诺数无关,试验中不考虑粘性力相似条件。本准则认为网具阻力系数 C_R 不是常数而是雷诺数的函数,亦即 $C_R = C_R(R_e)$ 。在模型试验中考虑粘性力相似条件。(2) 现有准则按重力相似,亦即相当于网体小尺度傅汝德数相似条件推导实网与模型网之间的速度关系。本准则认为支配网具阻力的主要因素是粘性力。考虑到网体的滤流特点,以网体的小尺度雷诺相似为条件推导实网与模型网之间的速度关系。同时考虑到二者的大尺度雷诺数不同所产生的尺度效应,引进了相应的修正系数。在讨论了相似准则的理论前提后,本文阐述了新准则的要点。

前 言

网具在水中的运动和受力是一个十分复杂的水动力学问题。网体本身是一种柔性体,它与刚体的情况不同,在外力作用下网形会发生变化,而网形变化又会影响它的受力。运动微分方程的边界条件是变化的。用纯理论方法来决定在某种拖速下的网形和阻力,至今还是相当困难的。因此,实网试验和模型试验仍然是十分重要的研究手段。自日本学者田内1934年提出网具模型试验的相似准则^[1]以来,Баранов^[4]、Dickson^[4]、克立司登生⁽²⁾等各国学者也相继提出了一些相似准则。我国的网具科技工作者沿用日本田内准则进行了若干模型试验^(3,5)。对水槽与风洞中的试验原理也作过一些探讨⁽⁴⁻⁷⁾。本文着重从理论上探讨拖网网体模型试验的相似准则。

(1) 顾惠庭,1978。国外发表的一种渔具模型相似准则。水产科技情报,9:15-18。

(2) 上海水产研究所等,1976。机轮拖网模型试验报告。

(3) 上海水产研究所等,1977。机轮拖网模型系列试验报告。

(4) 上海水产学院编,1961。渔具理论与捕鱼技术,第一篇·渔具计算的一般原理。

(5) 张荫乔等主编,1979。海洋捕捞学(待出版)。

(6) 乐美龙,1969。试论拖网网具风洞模型试验准则(上海水产学院)。

(7) 陈兴崇,1975。关于拖网模型试验原理的探讨(湛江水产专科学校)。

现有的网具模型试验相似准则,虽然在考虑的参数和表达方式上还有一些差别,但它们的理论前提都有二个共同点:(1)假定网具阻力与速度平方成正比,亦即阻力系数是常数 K ,与雷诺数无关,处于所谓的“自动模拟区”内。因而在模型试验中不考虑粘性力相似。(2)按实网和模型网的阻力与重力成比例的关系,亦即重力相似条件推导实网与模型网之间的速度关系。并在此基础上导出了一系列的换算关系。

作者认为,上述二个基本前提从流体力学原理上看是值得商榷的。同时现有的一些试验结果也表明,网具的阻力不一定与速度平方成正比。也就是说,阻力系数不一定是常数,而是与雷诺数有关的。本文首先分析拖网(主要是网体)模型试验相似准则的二个理论前提,然后阐述小尺度雷诺相似准则的要点。

拖网模型试验的理论前提

(一) 关于假设网具阻力系数处于“自动模拟区”的探讨问题

要保持实网和模型网网体几何全相似是很困难的。网体的大尺度(例如网体长度 l)有好几十米而小尺度(例如网线直径 d)只有几毫米。在创造模型网时要保持这二种尺度为同一缩尺比是难做到的。通常是用不同的缩尺比,对于大尺度取

$$\frac{l_1}{l_2} = \lambda \quad (1)$$

对于小尺度取

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{a_1}{a_2} = \lambda' \quad (2)$$

式中, a 、 d 分别是网目脚长和网线直径, l 是网体长度, λ 为大尺度缩尺比, λ' 为小尺度缩尺比下标“1”指实网,下标“2”指模型网。(以下同)

要使模型网的大尺度雷诺数 $Re_2 = \frac{V_2 l_2}{\nu_2}$ 与实网的大尺度雷诺数 $Re_1 = \frac{V_1 l_1}{\nu_1}$ 相等也是困难的。因为若 $Re_1 = Re_2$ 则,

$$\frac{V_1 l_1}{\nu_1} = \frac{V_2 l_2}{\nu_2} \quad (3)$$

在水槽试验中可认为 $\nu_1 = \nu_2$ (ν 是运动粘性系数)则必须

$$V_2 = V_1 \cdot \lambda \quad (4)$$

模型网速度(V_2)等于实网拖速(V_1)的 λ 倍,例如当 $\lambda = 20$ 时,相当于实网拖速为4节的模型拖速约达40米/秒。这不仅是难以实现的,即使实现了,作用在模型网上的力过大,网线也难以承受。

基于上述困难,田内等所提出的一些相似准则都曾作了以下的假定。认为在实际的拖速范围(2—5节,1—2.5米/秒)内,网线的直径约为2—5毫米,水温变化约为5—20°C。

若网线轴向与水流成90°时,判别流态特征的雷诺数 $Re' = \frac{Vd}{\nu}$ 大约为 $2 \times 10^3 - 1.25 \times 10^4$,这一 Re' 数正好处于圆柱体(网线可视为粗糙圆柱体)阻力曲线的所谓“自动模拟区”

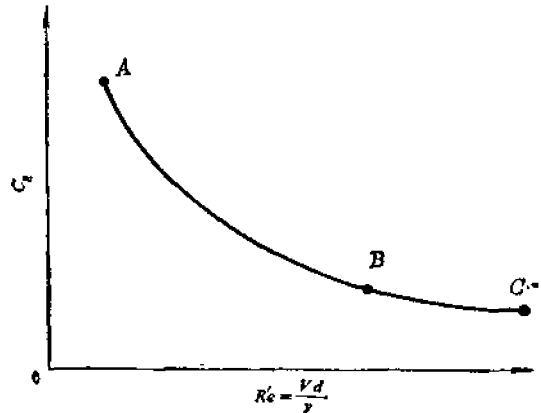
内($Re = 10^3 - 1.8 \times 10^5$)。在这一区域内阻力系数与雷诺数无关,大体上保持定值。从而认为在网具模型试验中可不必保持实网与模型网之间的雷诺数相等。网具的阻力公式表达如下:

$$R = K \cdot \rho \frac{d}{a} S V^2 \quad (5)$$

式中 R ——网具阻力 (公斤)
 ρ ——水密度 (公斤·秒²/米⁴)
 d ——网线直径 (毫米)
 a ——网目脚长 (毫米)
 S ——网片缩结后面积 (米²)
 V ——网具与水流相对运动速度 (米/秒)
 K ——阻力系数,假定是常数。

基于上述网具阻力系数 K 是常数,又有处于“自动模拟区”之假定,为此,这些相似准则不再考虑粘性力的相似条件。

作者认为,与轴线成 90° 方向运动的圆柱体,其阻力系数曲线在所述 Re' 数范围内是接近常数的,但是整个网体在水中的运动情况,要比圆柱体垂直于水流的情况复杂得多,各段网线与流向的夹角有的成 90° ,有的成某一个角度 α ,有的与流向一致,这些与流向成不同夹角的网线,它们的阻力系数随雷诺数的变化规律是不同的。而且由于网线间的相互影响以及网结的影响等等,整个网具的阻力系数随雷诺数的变化规律与一根垂直于流向的网线的阻力系数规律也是不一样的。因此假定整个网具的阻力系数在前面所定义的雷诺数范围内也处于“自动模拟区”而不必考虑模型与实网间的雷诺相似,这样依据并不充分。而今已有不少网具模型试验的结果表明,阻力与速度之间的关系不是平方关系,有的试验结果是 1.5 次方关系,有的是 1.8 次方关系。这一事实表明,在目前的一些模型网具试验中阻力系数并未处于所谓的“自动模拟区”,亦即阻力系数还未达到



附图 C_R 和 Re' 的关系曲线

常数区 BC 段,而仍处于 AB 段。(参见附图)附图中 $Re' = \frac{Vd}{\nu}$, $C_R = R / \frac{1}{2} \rho V^2 \Omega = C_R(Re')$ 。

近来一些学者也注意到雷诺数的影响是不可忽视的,提出要对田内准则作雷诺数修正,并开展了对相似理论的基础研究工作^[4]。

基于上述分析,作者建议,不要假定网具阻力系数是常数,网具阻力可采用流体力学中通用的表达式:

$$R = \frac{1}{2} \rho V^2 \Omega C_R \quad (6)$$

式中 R ——网具之阻力 (公斤)

ρ ——水密度 (公斤·秒²/米⁴)
 V ——网具拖曳速度 (米/秒)
 Ω ——网具的特征面积 (米²)

C_R ——网具阻力系数,它是雷诺数的函数 $C_R = C_R(Re')$ 通过试验加以确定。

需要指出的是在式(6)和(5)中,从表面上看,阻力表达式中都出现 V^2 项,但是由于在(6)式中阻力系数 C_R 不是常数且雷诺数 $Re' = \frac{Vd}{\nu}$ 的函数,在 d, ν 一定时 C_R 就是 V 的函数。因此阻力公式(6)不表示阻力与 V^2 成正比,例如当 C_R 处于附图的 AB 段时,若 $C_R \sim V^{-0.2}$ 则 $R \sim V^{1.8}$; 若 $C_R \sim V^{-0.5}$ 则 $R \sim V^{1.5}$ 。因此这一表达式可包括现有试验中的各种情况。而(5)式中由于设 K 为常数,它就等于假定了阻力 R 与 V^2 成正比。

我们在本节开头就指出,由于网体本身有二种不同的特征尺度,即大尺度(如网体总长度 l ,网口周长 b ,网口高度 H 等)和小尺度(如网线直径 d ,网目脚长 a ,以及 $\sqrt{S'}$, $h = \frac{S'}{4a}$ 等等。其中 S' 代表网目缩结后面积, h 为网目缩结后面积与网目周长之比)。因此就会出现二种雷诺数,大尺度雷诺数,如 $Re = \frac{Vl}{\nu}$ 和小尺度雷诺数如 $Re' = \frac{Vd}{\nu}$ 。问题在于究竟用哪一种特征尺度为表征的雷诺数更能反映出网体运动时粘性力的本质。

网体在水中作相对运动是一种柔性体的滤流问题,与通常的外表面封闭的物体绕流情况不同,流体都要绕过网线从每一个网目中滤过。因此在选择影响流动的特征尺度时,不仅要考虑网体的大尺度,尤其要注意的是与网目形状及网线尺寸有关的小尺度。决定阻力(粘性力)系数的不仅是大尺度雷诺数,而更主要的是小尺度雷诺数。前面已经提到,保持实网与模型网大尺度雷诺数相等是很困难的。本文建议的相似准则是以小尺度雷诺数相等为基础的,同时考虑到实网与模型网之间大尺度雷诺数的不同会产生一定的尺度效应,引进了相应的修正系数。

(二) 关于现有准则推导实网拖速和模型网拖速间关系的问题

现有的相似准则在“自动模拟区”的假定下,认为虽然模型与实网的雷诺数不同,流态却仍然相似,从而忽略了粘性力相似条件。认为只要保持模型与实网的阻力 R 与重量 G 之间的比值相等,就可以达到模型与实网的主要作用力相似了。亦即令

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{G_1}{G_2} \quad (7)$$

从中推出模型网与实网速度间的关系。式(7)中 R 代表阻力, G 代表网在水中的重量,由于网体在水中的重量 G 可表述为

$$G = L \cdot \frac{\pi d^2}{4} (r - 1) \quad (8)$$

式中 L ——网线总长度
 d ——网线直径
 r ——网线重度

又因

$$L = \frac{S}{au_+u_-} \quad (9)$$

式中 S ——网片缩结后总面积

u_+ ——垂直缩结系数

u_- ——水平缩结系数

代入(7)式可以得到

$$\frac{K_1 \rho_1 \frac{d_1}{a_1} S_1 V_1^2}{K_2 \rho_2 \frac{d_2}{a_2} S_2 V_2^2} = \frac{\frac{S_1}{a_1 u_+ u_-} \cdot \frac{\pi d_1^2}{4} (r_1 - 1)}{\frac{S_2}{a_2 u_+ u_-} \cdot \frac{\pi d_2^2}{4} (r_2 - 1)} \quad (10)$$

在“自动模拟区”的假定下,实网和模型网的阻力系数 $K_1 = K_2$, 又由于模型网与实网几何相似,所以二者的缩结系数相等,

$$\left. \begin{aligned} u_{+1} &= u_{+1} \\ u_{-1} &= u_{-1} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

在水槽试验中可认为 $\rho_1 = \rho_2$ 于是得到:

$$\frac{V_1^2}{V_2^2} = \frac{d_1 (r_1 - 1)}{d_2 (r_2 - 1)} \quad (12)$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\lambda' \frac{(r_1 - 1)}{(r_2 - 1)}} \quad (13)$$

若模型网与实网选用相同的材料, $r_1 = r_2$ 。则有

$$\frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\lambda'} \quad (14)$$

上面的推导,忽略了粘性力,只抓住了重力相似,所得的结果实际上就是小尺度的傅汝德数相似,亦即 $F_{r1} = F_{r2}$ 。若

$$\frac{V_1}{\sqrt{gd_1}} = \frac{V_2}{\sqrt{gd_2}} \quad \text{则 } V_1/V_2 = \sqrt{\lambda'} \quad (15)$$

作者认为拖网是在水下拖曳运动的,水表面对拖网运动的影响很小,拖网过程中兴波现象可以忽略,因此在整个运动中支配网具阻力的主要是粘性力而不是重力。在进行模型试验时,不考虑粘性力相似条件而抓住了重力相似条件是不够合理的。本文要采取的是小尺度雷诺相似准则。

拖网模型试验小尺度雷诺相似准则要点

在前节中我们分析了现有模型试验相似准则的二个前提中的问题。提出了本准则的基本思想,即,保持实网与模型网小尺度 Re' 数相等的条件,同时考虑因模型网与实网的大尺度 Re 数不同,会产生一定的尺度效应,再引进相应的修正系数。本节进一步阐述这一准则的要点。

(一) 关于几何相似

模型网和实网的几何全相似难以实现,仍然采用大尺度比 λ 和小尺度比 λ' 二种不同

的缩尺比。

实网大尺度与模型网大尺度之比:

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{b_1}{b_2} = \frac{H_1}{H_2} = \dots = \lambda \quad (16)$$

实网小尺度与模型网小尺度之比:

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{a_1}{a_2} = \frac{\sqrt{S'_1}}{\sqrt{S'_2}} = \frac{h_1}{h_2} = \dots = \lambda' \quad (17)$$

式中 H ——网口高度, $h = \frac{S'}{4a}$

b ——网口周长

模型与实网的剪裁(或编织)方式相同,缩结系数相同

$$u_{\perp 1} = u_{\perp 2}, \quad u_{\parallel 1} = u_{\parallel 2} \quad (18)$$

模型网的网目数可由下式决定

$$\frac{n'_1}{n'_2} = \frac{n''_1}{n''_2} = \frac{\lambda}{\lambda'} \quad (19)$$

式中 n' ——网片纵向目数

n'' ——网片横向目数

实网与模型网的上下纲直径比

$$\frac{d'_1}{d'_2} = \frac{d''_1}{d''_2} = \lambda' \quad (20)$$

实网与模型网的上下纲长度比

$$\frac{b'_1}{b'_2} = \frac{b''_1}{b''_2} = \lambda \quad (21)$$

式中 d' ——上纲直径,

d'' ——下纲直径,

b' ——上纲长度,

b'' ——下纲长度。

为保持网形相似,在模型网上也要装置一定数量的浮子和沉子。并使

$$\frac{W_{F_1}}{W_{F_2}} = \frac{W_{\perp 1}}{W_{\perp 2}}, \quad \frac{W_{Z_1}}{W_{Z_2}} = \frac{W_{\parallel 1}}{W_{\parallel 2}} \quad (22)$$

式中 W_F ——浮子的总浮力,

W_Z ——沉子总重量,

W_{\perp} ——上纲在水中重量

W_{\parallel} ——下纲在水中重量。

网体的材料尽可能取相同的。

(二) 关于运动相似

模型与实网的运动相似与动力相似密切相关。本准则按小尺度 Re' 数相似决定模型网与实网之间的速度关系。

$$\text{即} \quad \frac{V_1 d_1}{\nu_1} = \frac{V_2 d_2}{\nu_2} \quad \text{或} \quad \frac{V_1 h_1}{\nu_1} = \frac{V_2 h_2}{\nu_2} \quad (23)$$

在水槽试验中 $\nu_1 = \nu_2$

$$\therefore \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{\lambda'} \quad V_2 = V_1 \lambda' \quad (24)$$

这一结果与现有准则不同, 现有准则 $V_2 = \frac{V_1}{\sqrt{\lambda'}}$, 模型速度比实网速度低, 本准则模型速度要高于实网速度。可根据试验水槽的尺度和拖车允许速度来决定 λ' , 例如对于长 100 米, 拖车最大速度 6 米/秒的试验水槽, 可取 $\lambda' = 1-3$, 对于更大的 λ' , 可在拖车速度更高, 尺度更大些的水池进行试验。

(三) 关于动力相似

本准则采用局部雷诺相似, 即仅保持实网与模型网的小尺度 Re' 相同:

$$Re'_1 = Re'_2 \quad (25)$$

而

$$Re_1 \neq Re_2 \quad (26)$$

设模型网网体的阻力为:

$$R_2 = \frac{1}{2} \rho_2 V_2^2 \Omega_2 C_{R_2} \quad (27)$$

式中 R_2 ——模型网网体阻力 (公斤)
 ρ_2 ——试验水密度 (公斤·秒²/米⁴)
 V_2 ——模型网速度 (米/秒)
 Ω_2 ——模型网网片总面积 (米²)
 C_{R_2} ——模型网网体阻力系数, $C_{R_2} = C_{R_2}(Re'_2)$

实网网体阻力可写为:

$$R_1 = \frac{1}{2} \rho_1 V_1^2 \Omega_1 C_{R_1} \quad (28)$$

式中 R_1 ——实网网体阻力 (公斤)
 ρ_1 ——实网作业区海水密度 (公斤·秒²/米⁴)
 V_1 ——实网拖速 (米/秒)
 Ω_1 ——实网网片总面积 (米²)
 C_{R_1} ——实网网体阻力系数

下面可以证明, 实网网体阻力系数 C_{R_1} 与模型网网体阻力系数 C_{R_2} 之间存在如下关系

$$C_{R_1} = C_1 C_{R_2} \quad (29)$$

式中 C_1 为考虑到实网与模型网的大尺度雷诺数不同存在着尺度效应而引进的修正系数。在模型网试验中测出 R_2 后可按(27)式求出 C_{R_2} , 再按(29)式求出 C_{R_1} , 然后由(28)式决定实网网体之阻力。

公式(29)的推证如下:

1) 先把模型试验所得到的模型网网体阻力 R_0 换算到一个与模型网的大尺度比也是 λ' 的几何和动力都全相似的中间网⁽¹⁾。这个中间网的阻力设为

$$R_0 = \frac{1}{2} \rho_1 V_1^2 \Omega_0 C_{R_0} \quad (30)$$

式中 R_0 ——中间网网体阻力 (公斤)
 V_1 ——中间网速度 (米/秒)
 Ω_0 ——中间网网片总面积 ($\Omega_0 = \lambda'^2 \cdot \Omega_2$) (米²)
 C_{R_0} ——中间网网体阻力系数

这个设想的中间网与模型网的大小尺度比均为 λ' ，而且取 $\frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{\lambda'}$ ，因此 $Re_0 = Re_2$ ， $Re'_0 = Re'_2$ ，中间网与模型网是几何与动力都全相似的二顶网具，因此它们之间的阻力系数必然相等，

$$\therefore C_{R_0} = C_{R_2} \quad (31)$$

于是得到：

$$R_0 = \frac{1}{2} \rho_1 V_1^2 \Omega_0 C_{R_0} = \frac{1}{2} \rho_1 V_1^2 \Omega_2 \cdot \lambda'^2 \cdot C_{R_2} \quad (32)$$

2) 其次，将中间网的阻力再换算到实网阻力，由于中间网与实网的网线尺度相等，而大尺度相似，运动速度相等，所以 $Re'_0 = Re'_1$ 而 $Re_0 \neq Re_1$ ，二者仅仅网片总面积不同。所以可以认为：

$$\frac{R_1}{R_0} = C_1 \frac{\Omega_1}{\Omega_0} \quad (33)$$

比例系数 C_1 是由于中间网的大尺度雷诺数 Re_0 (亦即等于模型网的大尺度雷诺数 Re_2) 与实网的大尺度雷诺数 Re_1 不同而引进的修正系数。

于是有：

$$R_1 = \frac{1}{2} \rho_1 V_1^2 \Omega_0 C_{R_0} \cdot C_1 \frac{\Omega_1}{\Omega_0} = \frac{1}{2} \rho_1 V_1^2 \Omega_1 C_1 C_{R_0} \quad (34)$$

对比(28)式和(34)式可以得到

$$R_1 = \frac{1}{2} \rho_1 V_1^2 \Omega_1 C_{R_1} = \frac{1}{2} \rho_1 V_1^2 \Omega_1 C_1 C_{R_0}$$

于是得到：

$$C_{R_1} = C_1 C_{R_0} \quad (35)$$

(35)式就是(29)式。

前面已经提到系数 C_1 是因大尺度雷诺数不同，所引进的尺度效应修正系数。对于同一顶实网，如果在试验中所取的大尺度比 λ 不同。那么用大尺度比不同的模型网作试验时所得到的模型网网体阻力系数 C_{R_0} 可能有所不同，因此在换算到实网时需采用不同的 C_1 值，所以 C_1 可以认为是 λ 的函数，或者看作是模型网的大尺度雷诺数 Re'_2 的函数，亦即 $C_1 = C_1(\lambda)$ 或 $C_1 = C_1(Re_2)$ 。可以想见，当 Re_2 大到超过某一个临界雷诺数 Re_{k_p} 后，亦即 $Re_2 \geq Re_{k_p}$ 时 $C_1 \rightarrow$ 常数。也就是当模型网的大尺度大到某一定数值后， $C_1 \rightarrow$ 常数。

(1) 这一“中间网”的概念仅仅是为了推证公式(29)而引入的。在今后的模型试验与换算中都用不到它，仅需按(29)式即可。

C_2 的决定可以通过 λ' 相同而 λ 不同的一系列模型网的试验结果统一换算到实网, 并与实网试验结果加以比较后决定。也可以通过这个系列试验决定临界雷诺数 Re_{cr} , 从而确定模型网所需要的最小的大尺度。

最后应当指出, 整个网具的模型试验相似理论是一个比较复杂的问题, 整个拖网由网衣, 纲索和属具等几部分组成。本文仅仅从理论上探讨了网体模型试验的相似准则, 而对于曳纲和属具的模拟和相似问题尚需作进一步的研究。在进行水槽拖网模型试验中, 为了保持网形的相似, 为了进行拖曳, 在模型网上也必须加上适当的浮沉子和拖索。但是模型试验中所加的浮沉子和拖索不一定能与实网的浮沉子和拖索达到几何与动力的全相似, 因此模型试验测出的网具总阻力尚需通过一定的方法把浮沉子和拖索的阻力扣除后才能得到模型网网体的阻力, 然后按(27)式算出 C_{R_1} , 按(29)式和(28)式再求出 C_{R_2} 及 R_2 , 求出实网网体阻力 R_2 后, 再通过适当的方法加上实网纲索与属具之阻力从而得到实网之总阻力。目前有一些理论计算的方法决定浮沉子, 网板和纲索之阻力, 也可以通过风洞试验方法决定浮沉子和网板之阻力整个网具的试验相似准则和网形、阻力的理论计算方尚需进一步研究。

参 考 文 献

- [1] Dickson, W., 1959. The Use of Model Net as a Method of Developing Trawling Gears. *Modern Fishing Gear of the World I*, 166—197. Fishing News Ltd., London.
- [2] Miyazaki, Y., 1964. Basic Investigations on the Resistance of Fishing Nets—(XII), Discussion on the Law of Similarity for Fishing Nets. *J. of Tokyo University of Fisheries*, 50(2):185—189.
- [3] Tauti, M., 1934. A Relation between Experiments on Model and on Full Scale of Fishing Net. 日本水产学会志, 3(4): 171—177.
- [4] Барацов, Ф. И., 1960. Техника Промышленного Рыболовства. Пищепромиздат. Москва.

A STUDY ON SMALL-SCALED REYNOLDS SIMILARITY CRITERION FOR MODEL TEST OF THE BODY OF TRAWL-NET

Chen Mingyi

(Xiamen Fisheries College)

Abstract

This paper is a study, on small-scale Reynolds similarity criterion for model test of the trawl-net. After analysing the theoretical basis for current similarity criteria, it gives a new similarity criterion based on small-scaled Reynolds similarity.

1. The main differences between the two kinds of criteria are as follows:

(1) The current criteria do not consider the viscous force similarity. They suppose that the coefficient of net resistance is a constant, and the net resistance is proportional to the square of velocity. In this criterion, we consider the coefficient of net resistance

(C_R) is not a constant but a function of Reynolds number, and then the viscous force similarity criterion should be considered.

(2) In the current criteria, the relation between the velocity of model net and full scale net is introduced according to the gravity force similarity. But, according to the filter-flow speciality of net, we think viscous force is the most important one for net resistance. We take the small-scaled Reynolds numbers similarity as a basis for introducing the relation between the velocity of model net and full scale net. Simultaneously, a revision coefficient (C_1) is introduced to consider the difference between two large-scaled Reynolds numbers.

2. In this paper, the main points of the criterion are pointed out. The relations between model net and full scale net are as follows:

$$\text{Large scale ratio: } \frac{b_1}{b_2} = \frac{b_1}{b_2} = \frac{H_1}{H_2} = \dots = \lambda$$

$$\text{Small scale ratio: } \frac{d_1}{d_2} = \frac{a_1}{a_2} = \frac{\sqrt{S'_1}}{\sqrt{S'_2}} = \dots = \lambda'$$

$$\text{Large-scaled Reynolds numbers: } Re_1 = \frac{V_1 b_1}{\nu_1}, \quad Re_2 = \frac{V_2 b_2}{\nu_2}$$

$$\text{Small-scaled Reynolds numbers: } Re'_1 = \frac{V_1 d_1}{\nu_1}, \quad Re'_2 = \frac{V_2 d_2}{\nu_2}$$

The two small-scaled Reynolds numbers are equal: $Re'_1 = Re'_2$

The two large-scaled Reynolds numbers are not equal: $Re_1 \neq Re_2$

The relation between two velocities: $V_2 = V_1 \lambda'$

$$\text{The formulas of net resistance: } R_1 = \frac{1}{2} \rho_1 V_1^2 \Omega_1 C_{R_1}, \quad R_2 = \frac{1}{2} \rho_2 V_2^2 \Omega_2 C_{R_2}$$

The relation between two resistance coefficients: $C_{R_1} = C_1 C_{R_2}$

The coefficient C_1 is a revision coefficient. It considers the difference between two large-scaled Reynolds numbers. If $Re'_2 \geq Re_{kp}$, $C_1 \rightarrow 1$, Re_{kp} is a critical Reynolds number.

In the above, "1" is for full scale net, "2" is for model net.