

文章编号: 1004-7271(2003)04-0319-05

飞碟型网箱水动力模型试验与理论计算比较

孙满昌, 张健, 钱卫国

(上海水产大学海洋学院, 上海 200090)

摘要 通过飞碟型网箱模型试验, 得出网箱水阻力和网箱网形的变化与流速之间的关系。网箱总阻力与箱体网衣湿水面积成正比, 正常工作环境下网箱水阻力与流速之间成 $F = 36090 \times V^{1.7904}$ 的关系。理论计算值一般比模型试验所得的网箱水阻力小 10% 左右。随着流速增加, 网箱立柱向前倾斜的程度略有增加, 当水流达到 2kn 时, 其倾斜角约为 5°。模型试验中, 网箱网衣在不同的流速下变形不大, 网箱容积基本保持不变。

关键词 飞碟型网箱; 水动力; 模型试验; 理论计算

中图分类号: S972.1 文献标识码: A

The comparison between results of model test and theoretical calculations of the hydrodynamic resistance of Sea Station cage

SUN Man-chang, ZHANG Jian, QIAN Wei-guo

(Ocean College, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

Abstract This paper shows the relationship between the hydrodynamic resistance, the deformation of shape of the Sea Station cage and the current velocity by the model test. The results indicated the gross drag of the cage is proportional to the area of the net enclosure which is soaked in water and the function of the resistance to the current velocity is $F = 36090 \times V^{1.7904}$ in normal condition. In addition, the water resistance obtained from theoretical calculation was usually 10 percent less than that from model test. While the current velocity increased, the slope of the cage spar increased gradually. The angle of slope is about 5 degrees when the current velocity reached 2kn. In the model test, the shape of the net enclosure and the volume of the cage almost kept constant in various conditions.

Key words Sea Station cage; hydrodynamic force; model test; theoretical calculations

发展海水养殖业是降低捕捞强度, 调整渔业结构的一项重要内容, 它有助于养护渔业资源、改善海洋生态环境。当前我国海水养殖网箱存在着结构简单、抗风浪能力差等缺点。近年来, 我国部分沿海地区引进了 NET 公司的 Ocean spar 飞碟型深水网箱。这类网箱主要由立柱、中环、平台、纲索、网衣、重锤、浮力变化装置及锚泊系统等组成(图 1)。飞碟型抗风浪网箱具有许多明显优点: 它把网衣所受的阻力转嫁至固件框架上, 避免网衣局部受力太大而引起的网衣破裂; 抗风浪能力强, 适应海域范围广; 网箱养殖容积大, 随流速变化小。但是, 对飞碟型网箱水动力方面的研究仍处于初级阶段, 大都在理论上进行推算^[1, 2], 尚没有进行模型试验和实物测试以对网箱水动力进行研究。本研究旨在通过模型试验, 掌握

网箱水动力随水流变化的关系,了解锚泊系统的受力情况,为今后合理选用锚、纲绳的规格,设计适合于我国海况的网箱提供理论依据。

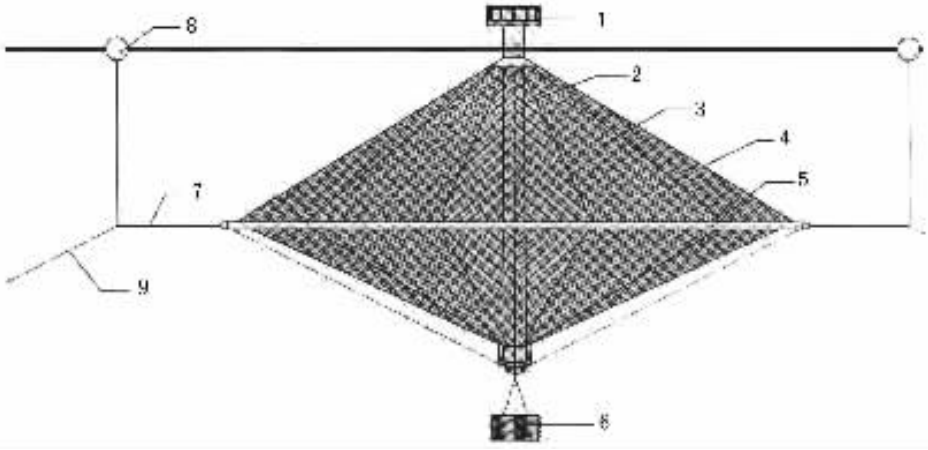


图1 飞蝶型网箱结构图

Fig.1 The structure of the Sea Station cage

1.平台 2.立柱 3.网衣 4.力纲 5.中环 6.重锤 7.张网 8.浮子 9.锚绳

1 材料与方法

1.1 试验设备

本试验于2003年4月8日—9日在东海水产研究所渔具试验室模型试验水池内完成。试验水池主尺度为90m×6m×3m,测速系统使用光电式测速器,当拖车速度大于2m/s时,相对精度 $P \leq 1\%$;测力系统使用Lu-A型测力传感器,量程为100N,非线性误差小于满量程的0.05%;网高仪距离分辨率为30mm。

1.2 试验网箱

实物网箱采用目前在浙江地区使用的飞碟型网箱,大尺度比取8.0,小尺度比取1.667,实物网箱与模型网箱的主参数如表1所示。

表1 实物与模型网箱主要参数值

Tab.1 The main parameters of the model and real cages

网箱	箱体外径 H(m)	中环粗度 D(mm)	立柱高度 H(m)	立柱直径 D(mm)	网目尺寸 2d(mm)	网线直径 d(mm)	网线材料	缩结系数
实物	23.18	325	13.85	426	50	2	PE	0.65
模型P	2.9	54	1.385	40	30	1.2	PE	0.65

1.3 试验方法

模型试验以田内准则作为试验的相似准则;每项试验内容的流速均设置为0.5~2.5kn,间隔0.25kn。分别测试网箱的阻力和网形的变化。

1.4 试验内容

- (1)中环浮于水表面,不加重力,张网上不加浮力,测试张网上的张力和网形变化;
- (2)中环处于水平面以下350mm,加66.6N沉力,张网上不加浮力,测试张网上的张力和网形变化;
- (3)中环处于水平面以下700mm,工作平台略高出水面,加78.4N沉力,在张网上不加浮力,测试张

纲上的张力和网形变化;

(4) 中环处于水平面以下 350mm, 加 66.6N 沉力, 在张网上加浮力, 测力点在垂直方向距中环 1.3m, 张纲与锚绳之间的夹角为 14° , 测锚绳上的张力;

(5) 中环处于水平面以下 700mm, 工作平台略高出水面, 加 78.4N 沉力, 在张网上加浮力, 测力点在垂直方向距中环 1.0m, 张纲与锚绳之间的夹角为 11° , 测锚绳上的张力。此种为正常的工作环境。

1.5 网箱水阻力理论计算方法

假设飞碟型网箱在不同流速下网衣变形不大, 容积基本保持不变, 网箱内部流态不发生明显变化, 网箱的阻力大多来自立柱、中环和网衣, 则对多边形 (在此假设为 $4n$ 边形, 其中 n 为 2、3、4) 网箱的阻力进行了理论推算, 并假设网箱水阻力主要由立柱、中环及网衣的阻力组成, 则各部分阻力计算如下:

$$\text{立柱的阻力: } R_I = C_d \times \frac{1}{2} \rho v_0^2 A = \frac{1.1}{1 + 1.336 \times 10^{-3} e^{1.644 \times 10^{-5} Re}} \times \frac{1}{2} \rho v_0^2 A;$$

其中: Re —立柱的雷诺数; ρ —流体的密度 (kg/m^3); v_0 —流速 (m/s); A —立柱在垂直与来流方向平面上的投影面积 (m^2);

$$\text{中环的阻力}^{[2]}: R_{II} = 2\rho c \cos \frac{\pi}{4n} \sum_{i=1}^n A v_0^2 \{ C_{N90} \cdot \cos^2 \left[\frac{\pi}{4n} + \frac{\pi}{2n} (i-1) \right] + \pi C_f \};$$

其中: C_{N90} —圆柱体与来流垂直时的阻力系数; C_f —圆柱体的摩擦系数; A —中环在垂直与来流方向平面上的投影面积 (m^2);

$$\text{网衣的阻力}^{[3]}: R_{III} = \rho c \cos \frac{\pi}{4n} \cdot \frac{d}{a E_T E_N} \sum_{i=1}^n \{ v_0^2 \cdot R \sqrt{H^2 + R^2 \cos^2 \frac{\pi}{4n}} [(C_{D90} - C_{D0}) \cos^2 \left[\frac{\pi}{4n} + \frac{\pi}{2n} (i-1) \right] + \frac{H^2}{R^2 + H^2} + C_{D0}] \};$$

其中: a —网目目脚长度; d —网线直径; R —中环外径 (m); H —网箱高度 (m); C_{D90} —网片与来流垂直时的阻力系数; C_{D0} —网片与来流平行时的阻力系数; E_T —网箱网衣的横向缩结系数; E_N —网箱网衣的纵向缩结系数。

网箱的总阻力为: $R = R_I + R_{II} + R_{III}$ 。

2 结果与分析

2.1 网箱的网形变化

由于飞碟型网箱箱体部分网衣固定在力纲上, 箱体的形状基本不因流速的变化而变化, 因此在流速变化时, 其容积与静态时相比变化不明显; 通过网箱的水中形态观察, 当受力点与测试点在同一水平面时 (试验项目 1、2、3) 随着流速的增加, 网箱立柱逐渐向前倾斜, 中环迎流部轻微下沉, 当水流达到 2kn 时, 其倾斜角约为 5° ; 当受力点在测试点上面 (试验项目 4、5), 但与受力点接触部分张纲与中环保持同一水平面时 (即在张网上配备一定的浮力), 随着流速的增加, 网箱立柱向前倾斜的程度略大于前面一种情况, 其倾斜角约增加 $1^\circ \sim 2^\circ$ 。模型试验中, 网箱网衣在不同的流速下基本保持不变, 网箱容积保持不变。

2.2 网箱水动力的变化

2.2.1 不同条件下网箱水阻力与流速之间的关系

从图 2 可以看出项目试验 1、2、3 的水阻力与流速的关系, 随着网箱箱体湿水面积的变化, 其阻力也

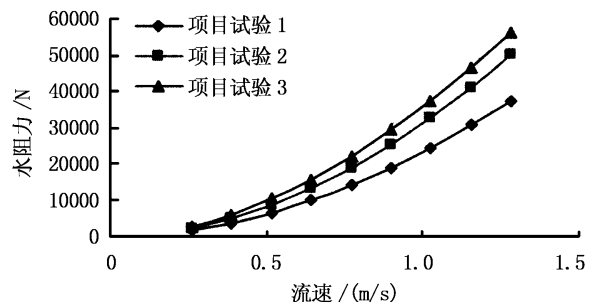


图 2 不同条件下网箱水阻力与流速之间的关系

Fig.2 The relationship between the drag of cage and current velocity in various conditions

相应变化。由于网箱的大部分阻力来自于网衣^[2],而网衣的阻力在网箱形状基本不变的情况下与网衣的湿水面积成正比。因此从总体来看,网箱总阻力大致与箱体网衣湿水面积成正比。

2.2.2 不同测力点位置时的水阻力与流速关系

项目试验 4 和项目试验 5 的水阻力与流速之间的关系如图 3、4:

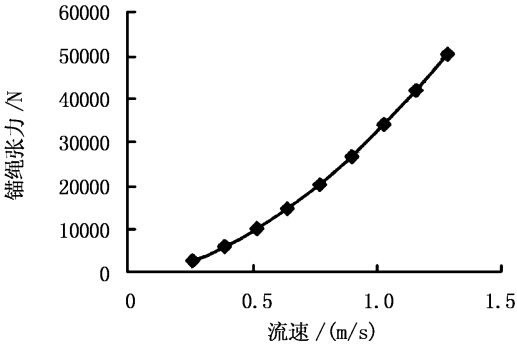


图 3 项目 4 锚绳张力与流速的关系

Fig.3 The relationship between the tension of anchor rope and current velocity of No.4 experiment

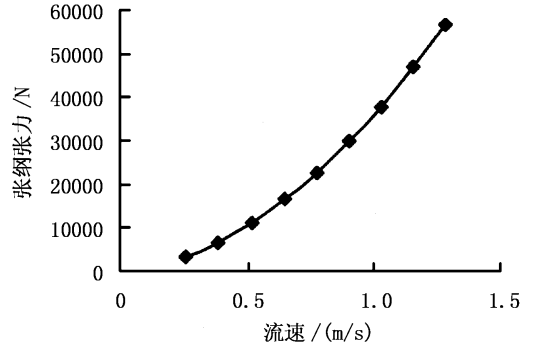


图 4 项目 5 锚绳张力与流速的关系

Fig.4 The relationship between the tension of anchor rope and current velocity of No.5 experiment

对比项目试验 2 与项目试验 4 以及项目试验 3 与项目试验 5 发现,在相同的沉浮状态下,网箱的水阻力与锚绳张力之间几为简单的三角关系,即: $F = F_A \cdot \cos\theta$, 其中 F 为网箱水阻力; F_A 为锚绳张力; θ 为锚绳与张纲之间的夹角。由于测力点位置不同造成的网箱倾斜程度的变化对网箱水阻力影响不大。

2.2.3 不同条件下的网箱张纲张力及锚绳张力与流速的关系函数式

一般认为,网箱整体阻力与流速呈幂函数关系,其关系式可简化为: $F = K \times V^b$, K 、 b 为系数。利用上述关系式对模型试验所得数据进行拟合得各试验项目的水阻力估算公式如表 2。

表 2 各试验项目的水阻力拟合公式

Tab.2 The fitted formula of the hydrodynamic resistance of each experiment

项目序号	阻力拟合公式	相关系数
1	$F = 23263 \times V^{1.8979}$	$r = 0.9977$
2	$F = 31040 \times V^{1.9163}$	$r = 0.9964$
3	$F = 35526 \times V^{1.837}$	$r = 0.9983$
4	$F = 32268 \times V^{1.7703}$	$r = 0.9985$
5	$F = 36090 \times V^{1.7904}$	$r = 0.9981$

3 讨论

3.1 模型试验与理论计算值的比较

当实物网箱完全沉入水体时(试验条件与项目试验 3 相同),经理论计算,得到各流速下的阻力值如表 3 所示。

表 3 不同流速下实物网箱的阻力理论计算值

Tab.3 The drag of theoretical calculations according to different current velocity

流速(kn)	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0	2.25	2.5
阻力(N)	2168.5	4678.5	8667.6	13524.5	19424.2	26314.4	34147.4	42701.1	52057.7

通过拟合,阻力与流速关系式为: $F = 32059 V^{1.9893}$ 。

理论计算中假设网箱内外的流态保持不变,但是在实际中,迎流面必定会对网箱内部的流态产生了一些影响(尤其在网衣的 d/a 值较大时),网箱内部流速和背流面的流速势必减小,因此认为网箱阻力与流速的关系式中的幂指数应略小于 2 约为 1.80 左右。

通过比较理论计算值与模型试验结果,发现理论计算值比模型试验所得结果略小,约为模型试验换算值的 90% 左右。这主要是因为:一是理论计算中各系数的取值可能存在一定的偏差;二是理论计算是建立在理想状态下分别对立柱、中环及网衣进行独立计算,没有考虑部件相互间的影响;三是由于理论计算只涉及到了网箱的三个主要部分的水阻力,而忽略了其它一些附件如力纲、重锤等的水阻力。

但是,模型试验所得网箱阻力与实际的网箱阻力也可能存在一定差异,这是因为:一方面,由于模型网箱网线的雷诺数较实物网箱的雷诺数为小,模型试验换算值往往偏高^[5];另一方面,模型网箱的立柱与中环在模型试验的条件下,基本处于自动模拟区,阻力系数基本保持不变,但是,实物网的中环与立柱在实际条件下,雷诺数已超过了 2×10^5 的自动模拟区,实物网箱的阻力系数应比模型网箱所对应的两部分的阻力系数小。对于这部分的差异,应通过实物网箱的实测值进行修正。

3.2 网箱张纲的浮力配备

在实际生产中,通常采用在张纲上配备一定浮力的办法以保持连接网箱的张纲与中环保持水平。本次试验也进行了装配浮子后水动力研究,结果发现,由于实物网箱配备的浮子规格一般都比较大,在通常流速下,其雷诺数已经超过了自动模拟区,水阻力随流速的变化迅速下降^[4],而且,浮子所受的水阻力相对于网箱而言显得非常小(通过理论计算,不到整个网箱的 0.5%),因此,在实际设计网箱时,可以忽略浮子受到的水阻力。在本次模型试验中,张纲和锚绳上的力相差不大,主要是由于锚绳与张纲所成的夹角不大(分别为:项目试验 4 为 11° ,项目试验 5 为 15°)所造成的。因此在实际的网箱设计中,浮力配备通过水阻力和锚绳与张纲所成的夹角估算。

当然,飞碟型网箱的工作方式是当遇到大风浪时,将网箱下沉至一定的水深以此降低风浪对网箱的影响,所以认为,张纲上浮力配备应以网箱下沉至的最大水深时的状况为准。

3.3 网箱主尺度变化对网箱水动力的影响

通过理论推算,不仅能得到网箱阻力与流速的函数关系式,还能掌握网箱主尺度变化对网箱水动力性能的影响。对于飞碟型网箱,既要求有一定的网箱养殖容积,同时要保证大部分容积处在适合于养殖对象生长的水层。因此适当减小立柱的高度既可以减小一定的水阻力,也能保证上述要求。或者可以设计非对称性的深海碟型网箱,以达到有效降低阻力的同时保持一定的有效养殖容积的目的。

3.4 网箱网衣变形

上述的理论推算或模型结果应较适合于网衣基本保持不变或形变较小的飞碟型网箱,不适用于网衣、力纲装配比较松散的网箱。飞碟型网箱在不同流速时的网衣变形与容积变化和装配工艺有着直接关系,因此,固定网衣的力纲的松紧程度、网衣装配时的绷紧程度等因素都将影响到网箱的水动力性能。

4 结 语

由于试验条件的限制,本次模型试验在静水池中完成,因此不能完全模拟生产实际情况,尤其是风浪对网箱水动力的影响,但试验的结果为进一步的研究提供了必要的基础。

通过模型试验和理论计算的结果比较看出,由于立柱和中环在实际情况下的雷诺数往往不在自动模拟区内,因此建议进行网箱模型试验时,可以采用细材料制作网箱的框架进行模型试验,然后进行独立的立柱和中环模型试验的方法。

参考文献:

- [1] 章守宇,刘洪生.飞碟型网箱的水动力学数值计算法[J].水产学报,2002,26(6):519-527.
- [2] 夏泰淳,张健.深水双锥型网箱的阻力估算[J].上海水产大学学报,2003,12(1):87-91.
- [3] 张健,孙满昌.碟型网箱网片阻力理论计算探讨[J].海洋渔业,2002(24):75-79.
- [4] 周应祺,许柳雄,何其渝.渔具力学[M].北京:中国农业出版社,1999.
- [5] 侯恩淮.拖网模型试验与实船测试结果的比较[A].中国水产捕捞学术研讨会论文集[C].江苏:苏州大学出版社,1997:8-15.