

### 3种网箱用网片的阻力性能与运动变化比较

黄洪亮,许永久,王磊,冯春雷,张勋,张禹,周爱忠

(中国水产科学研究院 东海水产研究所,农业部海洋与河口渔业重点开放实验室,上海 200090)

**摘要:** 采用模型试验,3种不同网片分别为六角形目经编网片RHN、菱形目无结经编网片KRNDM、菱形目有结绞捻网片KTNDM,规格均为1.7 mm(水平缩结长度)×1.7 mm(垂直缩结高度)。在不同流速下,通过改变网片的水平缩结系数( $E_t$ ,分别为0.65、0.707、0.60),对网片的阻力性能和运动变化(水平位移和垂直位移)进行研究。结果如下:(1)网片固定时,菱形目网片的阻力在水平缩结范围( $E_t=0.60\sim 0.707$ )内,随着缩结增大而逐渐减小。六角形目网片阻力在3者中最大,有结绞捻网片阻力最小,六角形目网片阻力与缩结关系不明显。3种网片之间的阻力差值随流速的增加而增大。(2)缩结系数对于水平位移和垂直位移的影响随网片的结构差异而不同。缩结系数相同时,六角形目网片的水平和垂直位移均为最大,有结绞捻网片均最小。(3)网片的阻力与水平垂直位移受迎流面积的影响。在缩结系数范围内( $E_t=0.60\sim 0.707$ )设计网片时首先应考虑网片结构和网线粗度,其次考虑结节,最后考虑缩结系数。[中国水产科学,2009,16(4):596-604]

**关键词:** 网片阻力; 缩结系数; 水平位移; 垂直位移

**中图分类号:** S9

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-8737-(2009)04-0596-09

网箱主要由框架、网衣和锚泊系统等构成,而网衣作为网箱的基本构件又是以网片为主要的组成部分。在养殖过程中,它起到围拦和滞留鱼体的作用<sup>[1-2]</sup>。作业中,网片承受水流作用力和外加载荷时,会发生较大的变形,因此,在网片设计时,需要对网衣各个部分的受力和变形等有所了解,尤其是网片呈现的空间形状变化。近年来,中国的水产养殖网箱发展较快,网箱养殖范围已逐步推向海况条件更为复杂的湾外半开放或开放海域,因而对网衣材料综合性能提出了更高的要求<sup>[2-5]</sup>。目前,国内外对网箱网片的研究多集中于网片的力学性能和数学模拟研究<sup>[1-7]</sup>。有关六角形目和菱形目等不同结构网片之间的比较研究已有一些报道,但主要偏重于其材料性能和拉伸力学性能<sup>[8-10]</sup>。有关六角形目网片的水动力学性能的研究,宋伟华<sup>[3]</sup>对其进行过理论分析,但未从实验角度去验证。詹杰民、李玉成等<sup>[11-12]</sup>通过模型试验对

有结网片与无结网片的水阻力系数进行了比较分析,但对不同结构网片之间的分析较少涉及。本研究通过网箱网片模型试验,研究3种不同规格网片在不同水平缩结、不同流速下的阻力性能和水平与垂直运动变化,以期为网箱设计和渔用网片的选配提供参考。

#### 1 材料与方法

##### 1.1 实验设备

网片模型试验在东海水产研究所网具模型试验水池进行。试验静水池主尺度:90 m(长)×6 m(宽)×3 m(深),拖车车速范围0~4.0 m/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1 000 N;测力仪器的线性误差小于满量程的0.05%。

##### 1.2 试验网片及装配

试验网片为3种规格1.7 m×1.7 m的方形网片,平面框架为1.7 m×1.7 m的刚性框架,其模型按相关

收稿日期:2008-09-17; 修订日期:2009-01-16.

基金项目: 国家863计划项目资助课题(2006AA10030105); 国家自然科学基金项目资助课题(40876049); 国家科技支撑计划(2006BAD09A05、2007BAD43B04); 上海市重点学科建设项目(T1101)资助。

作者简介: 黄洪亮(1964-),男,研究员,从事捕捞技术与渔业工程的开发研究. E-mail: ecshhl@163.com

标准制作<sup>[13]</sup>,具体参数见表1。网片框架固定于方形浮体上,浮体前端连接测力传感器由拖车牵引。网片固定:根据缩结系数,网片四周固定在1.7 m×1.7 m的刚性框架上,网片框架由浮体4个角的绳索系紧固

定。网片不固定:根据缩结系数,网片上部固定在1.7 m×1.7 m刚性框架上部,网片底端框架保留作重力牵引,其余部位不固定。框架具体装配见图1。

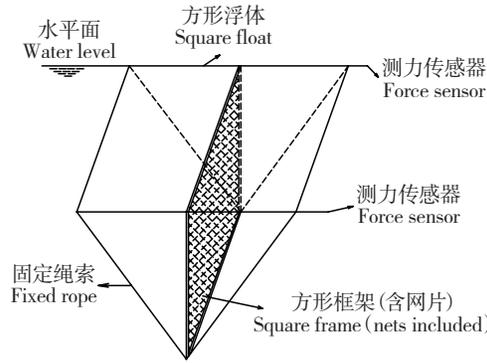


图1 网片框架装配图

Fig. 1 Layout of frame system for the plane net

1.3 实验方法

本实验采用《拖网模型试验水池试验方法》<sup>[14]</sup>:

渔具模型试验准则1(田内准则)进行。模型大尺度比( $\lambda$ )和小尺度比( $\lambda'$ )均为1。

表1 实物网片及模型网片的主参数  
Tab. 1 Main characteristics of full scale nets and model nets

主参数 Main characteristics	六角形经编网片 RHN		无结菱形经编网片 KRNDM		有结菱形绞捻网片 KTNDM	
	实物网 Full scale net	模型网 Model net	实物网 Full scale net	模型网 Model net	实物网 Full scale net	模型网 Model net
目脚长度 $a$ / mm Mesh size	16.7	16.7	25	25	26	26
水平缩结长度 $L$ / mm Horizontal length of net	1 700	1 700	1 700	1 700	1 700	1 700
垂直缩结高度 $H$ / mm Vertical height of net	1 700	1 700	1 700	1 700	1 700	1 700
网衣材料 Netting material	PE	PE	PE	PE	PE	PE
网线直径 $d$ / mm Diameter of netting-twine	2	2	2	2	2	2
大尺度比 $\lambda$ Large-scale ratio	-	1	-	1	-	1
小尺度比 $\lambda'$ Small-scale ratio	-	1	-	1	-	1

1.3.1 网片阻力的测定和计算 模型网片和框架阻力通过测力传感器直接读取,并经过2个传感器数据处理后得到迎流方向总阻力,在同样速度下测得框架阻力,即得网片阻力=框架网总阻力-框架阻

力,由于模型网( $F_m$ )与实物网( $F_s$ )大小尺度比均为1,  $F_m=F_s$ 。在0.5~2 kn的相对流速范围内,对3种规格(model)网片进行阻力和水平、垂直运动变化试验。由于在静水池中采用拖动模型网片的办法来进行试

验,故拖车的拖速作为水流速度。

**1.3.2 不同结构网片试验** 试验选用六角形目、无结经编菱形网目、有结绞捻菱形目3种网片,试验依次编号为N(1)、N(2)、N(3)。网片的状态分为固定N(G),不固定N(BG)。试验组合如下:

N(0) — N(G, BG),为无网状态,平面框架固定与不固定试验

N(1) — N(G, BG),为六角形网目网片,  $a=16.7$  mm,缩结系数 $E_i$ 分别为0.65、0.707、0.60

N(2) — N(G, BG),为无结菱形经编网目网片,  $a=25$  mm,缩结系数 $E_i$ 分别为0.65、0.707、0.60

N(3) — N(G, BG),为有结菱形绞捻网目网片,

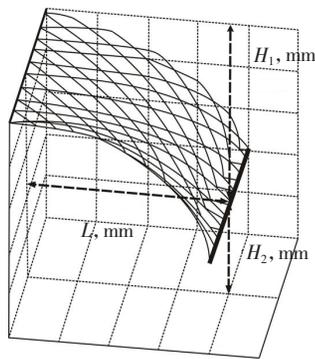


图2 网片的水平和垂直位移变化

Fig. 2 Variation of HD and VD

$a=26$  mm,缩结系数 $E_i$ 分别为0.65、0.707、0.60

水平位移(Horizontal displacement,  $L$ ):运动过程中,网片底部与前部的水平间距(图2)。

垂直位移(Vertical displacement,  $H_2$ ):运动中网片底部位置与静止时网片底部位置的垂直间距(图2)。

与水平面垂直距离( $H_1$ ):运动过程中网片底部与水平面之间的垂直距离(图2)。

六角形结构网目尺寸的计算:根据网目尺寸计算标准,按相邻3个六角形网目拉紧长度(包括3个连接边长,可视为菱形网目结构的结节)的1/3测量结果可以看出,六角形结构网目尺寸实际为 $4a$ ,是菱形目的2倍(图3)。

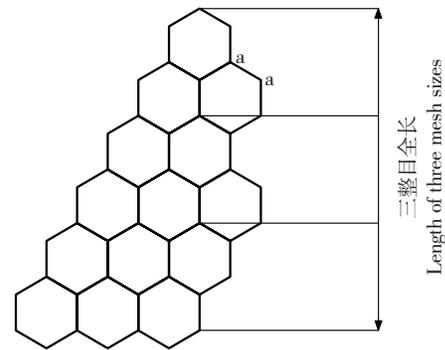


图3 六角形网目尺寸计算示意图

Fig. 3 Sketch map of hexagonal mesh size calculation

## 2 结果与分析

### 2.1 相同规格网片不同水平缩结系数下流速与阻力的关系

如图4所示,网片固定时,在不同水平缩结系数(0.65、0.707、0.6)条件下的阻力均随流速的增加而增加,其中六角形网目网片在水平缩结系数为0.65时,阻力最低;水平缩结系数为0.6时,阻力次之;当缩结系数为0.707时,网片的阻力最大。无结经编菱形网目网片在水平缩结系数为0.60时,网片阻力最大;水平缩结系数为0.707时,阻力最小,并随着流速的增加,不同缩结系数之间的阻力差值有不断增大趋势。从0.5 kn时的最小阻力差值3.92 N增加到2.0 kn时

的36.65 N。有结绞捻菱形网目网片,在较低流速时( $V < 1.5$  kn),水平缩结系数为0.60时阻力最小,0.65时阻力最大。较高流速下( $V > 1.5$  kn),水平缩结系数0.60时阻力最大,水平缩结系数为0.707时阻力最小。综合菱形有结和无结网片的试验结果,在水平缩结系数范围内(0.60~0.707),随着缩结系数的增加,网片阻力有减小趋势。而六角形网目网片却与此趋势相反,与其特殊的网目结构有关。图4中(a, b, c)可以看出,3种网片在水流流速变化时,受缩结影响网片阻力(对应缩结系数之间的阻力差值)变化并不显著。六角形网目网片在0.5 kn流速时的网片最大阻力差值为10.192 N,2.0 kn时最大阻力差值为18.718 N,二者的变化率为83.7%。固定时的网片阻

力变化说明在水平缩结系数(0.60~0.707)范围内,网片的有效投影面积变化不大。网片不固定时,在水流作用下产生垂直水平位移,受流线面积减小,平均阻力比固定时阻力小很多。图4中(d, e, f)可以看出,随着流速的变化,受缩结影响网片阻力差值变化也逐渐增大,3种网目结构网片最大阻力差值占最大

阻力的百分比分别是7.6%、22.4%和22.4%,其最大阻力差值和最小阻力差值的变化率为414%、674%、213%。以上数据表明,网片固定时阻力受缩结的影响变化较小,不固定时,受缩结影响稍大。由于网片的不固定,其在运动时,缩结系数会发生微小的变化,对于阻力的影响较复杂。

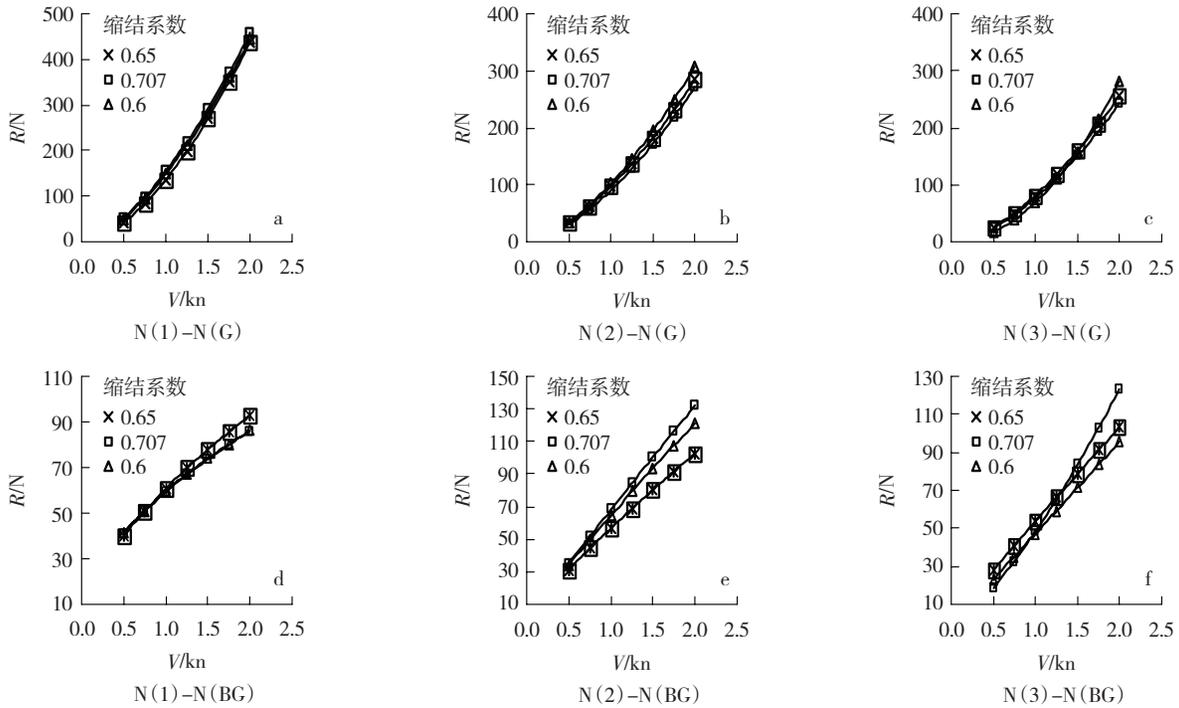


图4 相同结构网片阻力(R)与流速(V)关系  
N(G)-固定, N(BG)-不固定

Fig. 4 Relationship between fishing net resistance (R) and velocity (V) of flow  
N(G)-Fixed, N(BG)-Unfixed

2.2 相同缩结系数下不同结构网片阻力与流速的关系

如图5所示,固定网片阻力在V>1.0 kn时普遍高于不固定网片,在较低流速下(V<0.5 kn),固定网片与不固定网片阻力相差不大。图5(a, b, c)显示,网片固定时,3种网片之间的阻力差值随流速有增加的趋势。试验中,3种网片缩结面积相同,均为2.89 m<sup>2</sup>,无结菱形目网片和有结绞捻目网片在E<sub>i</sub>为0.65、0.707、0.60时的线面积分别为0.467 6 m<sup>2</sup>、0.462 7 m<sup>2</sup>、0.481 7 m<sup>2</sup>和0.468 3 m<sup>2</sup>、0.462 1 m<sup>2</sup>、0.482 2 m<sup>2</sup>(考虑结节影响,结节d<sub>k</sub>/d=3);六角形目网片的线面积在E<sub>i</sub>为0.65、0.707、0.60时的线面积分别为0.604 7 m<sup>2</sup>、

0.573 6 m<sup>2</sup>、0.640 9 m<sup>2</sup>。根据网片阻力计算公式R=C<sub>x</sub>×ρSV<sup>2</sup>,网片阻力与其线面积有关。六角形目网片线面积在三者中最大,阻力最大,与试验结果吻合。菱形网片计算结果表明,E<sub>i</sub>为0.65和0.60时,有结绞捻网片线面积均大于无结经编网片。实验结果如图4(a, b, c)所示,在E<sub>i</sub>分别为0.65、0.707、0.60的3种条件下,无结经编网片阻力均大于有结绞捻网片。与理论计算结果有差异,说明理论计算考虑结节直径过大,结节用线量过多。实际编织有结绞捻网片由于结节用线量较小,形成的阻力所占比重有限。

不固定网片在低流速下(V<0.5 kn),网片阻力

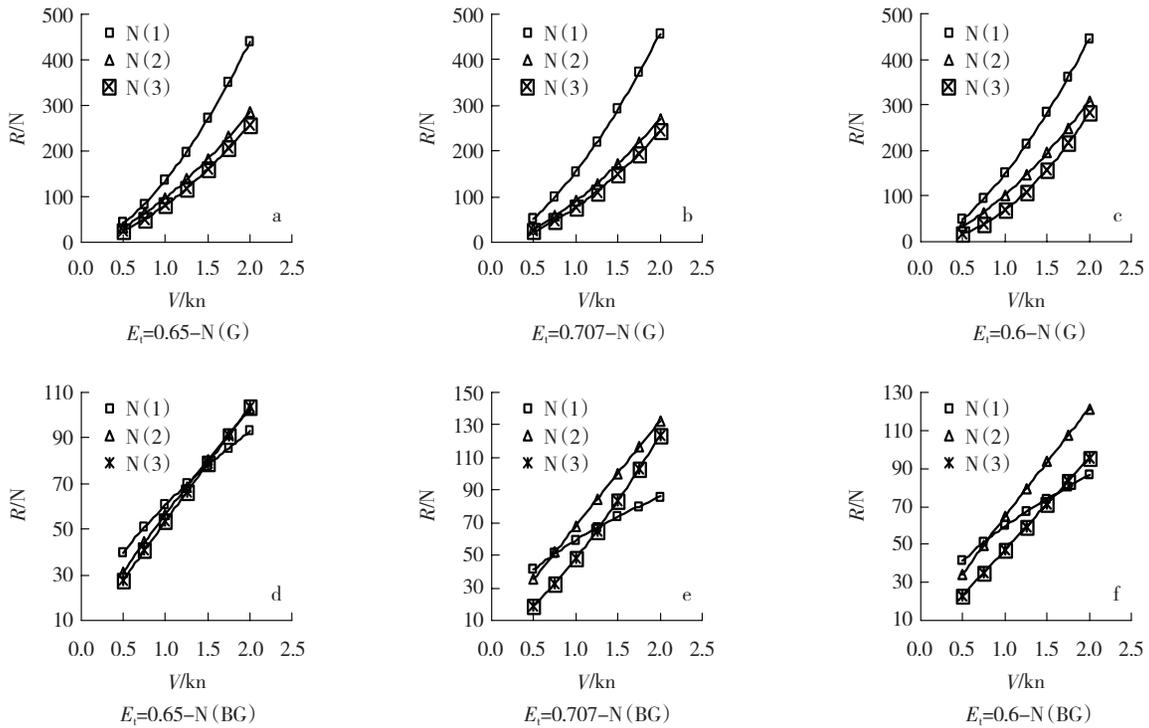


图5 缩结系数相同时不同网片阻力(R)与流速(V)关系  
N(G)-固定, N(BG)-不固定

Fig. 5 Relationship between different fishing net resistance and velocity of flow during the same hanging ratio  
N(G)-Fixed, N(BG)-Unfixed

变化趋势与固定网片相同,六角形目网片阻力最大,无结菱形目网片阻力次之,有结绞捻最小。流速  $V > 1.5$  kn时,无结菱形目网片阻力最大,六角形目网片阻力最小。由于不固定网片的阻力受流速、结构变化影响较大,较为复杂,因此其阻力之间的比较仍需要更进一步分析。

2.3 网片的水平位移与垂直位移运动变化

2.3.1 相同网片不同缩结系数下水平和垂直位移变化

网箱网片的水平垂直运动关系到其在水中的变形,网片不固定时,下加框架沉子,牵引网片运动。试验中,由于网片静止时与水平面垂直距离与最小速度时垂直距离相差不大,在网片形状变化不大未成曲面时,计算网片斜边长度,即为最初离水平面距离。网片的水平位移可直接测得,垂直位移根据图2所示求得。图6为3种网片在不同水平缩结下水平和垂直位移随流速的变化关系,水平垂直位移与流速成指数关系。可以看出,相同网片水平和垂直位移受缩结影响较小,说明不同缩结系数对于网片的

变形影响较小。水平垂直位移均随着流速的增加而增大。相同流速下,水平位移的变化比垂直位移变化大。从图6(a, b, c)显示,3种结构网片水平位移几乎没有差异(差异率不超过5%),六角形目网片和有结绞捻网片,在  $E_1 = 0.707$  时水平位移均最小,在  $E_1 = 0.60$  时最大。无结菱形目网片则在  $E_1 = 0.656$  时最小,  $E_1 = 0.707$  时,水平位移最大。这种变化趋势与其受到的阻力有很大影响。垂直位移的变化规律与水平位移相似,3种结构网片在  $E_1 = 0.60$  时,垂直位移均最大,在  $E_1$  为 0.707和0.65时,垂直位移较小。由图6可知,相同网片的水平位移与缩结关系不明显。垂直位移在缩结系数0.60~0.707范围内随着缩结系数减小有逐渐增大的趋势。

2.3.2 相同缩结系数不同网片水平和垂直位移变化

图7所示在相同缩结系数下网片水平和垂直位移随流速的变化关系。比较发现,六角形目网片水平和垂直位移均在缩结下均最大,有结绞捻网片水平和垂直位移均最小,无结菱形目网片的水平和垂直

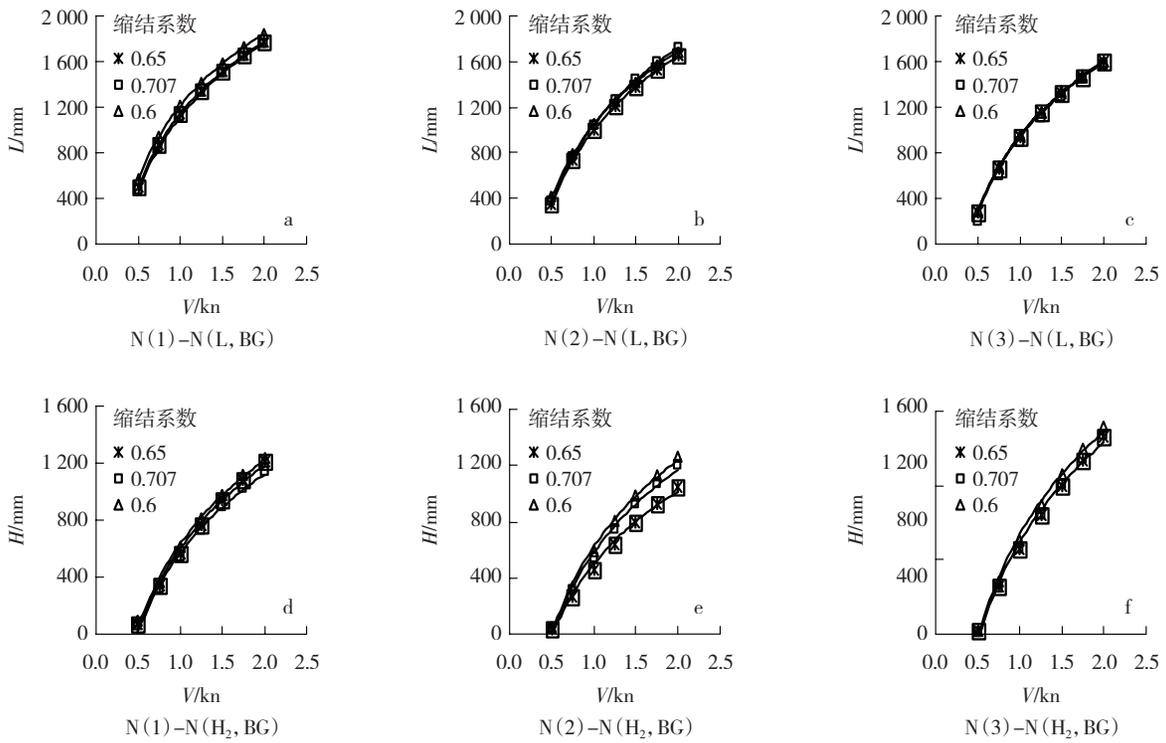


图6 缩结系数不同时网片流速与水平位移(a、b、c)以及垂直位移(d、e、f)的关系

Fig.6 Relationship between fishing net displacement variation and velocity of flow during different hanging ratio

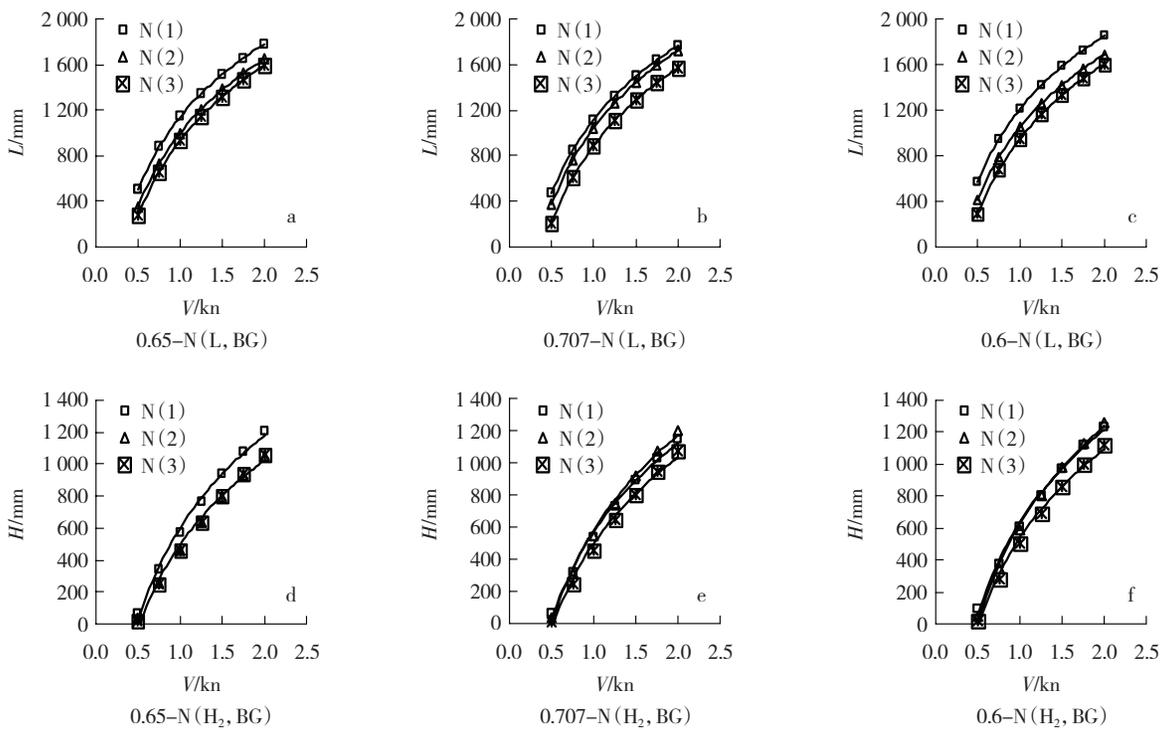


图7 不同网片的水平位移(a、b、c)和垂直位移(d、e、f)与流速的关系

Fig.7 Relationship between displacement variation and velocity of flow at the same  $E_t$

位移介于二者之间。如图7-a、b、c所示,六角形目网片水平位移比有结绞捻平均大32.6%,垂直位移大31.8%(图7-d、e、f)。六角形目网片水平垂直位移最大与其线面积有关,由于网片在水中的受流面积影响网片的阻力和流态的变化,线面积越大,其受流面积越大,受到的作用力也越大。而有结绞捻网片的水平垂直位移最小,其结节在水中所受的作用力有限。

### 3 讨论

#### 3.1 六角形目网片的缩结和网片线面积计算

关于六角形目网片网目尺寸和缩结的研究国内较少报道,仅见国外有相关研究。本实验选用六角形结构主要考虑其在国内网箱和远洋拖网渔业中应用较多<sup>[3,15]</sup>。传统观点认为,六角形目网片在作业中可降低渔具阻力,增大拖网速度,在网箱中,使用六角形目网片可使网箱的容积变化率较小,网箱易于移动<sup>[16]</sup>。六角形网片缩结系数根据定义计算,假设试验中六角形为正六角形。其缩结系数按照有关文献<sup>[3,17-18]</sup>计算可得,六角形水平缩结系数 $E_1$ 分别为0.65、0.707、0.60时, $E_n$ 分别为0.88、0.853 5、0.90。线面积计算如图3所示,将六角形目网片垂直边视为菱形的结节,然后按传统方法进行线面积计算(每个网目还应多计算链接的垂直边线面积 $\times 2$ )。得到其 $E_1$ 为0.65、0.707、0.60时线面积分别为 $0.604 7 \text{ m}^2$ 、 $0.573 6 \text{ m}^2$ 、 $0.640 9 \text{ m}^2$ 。同理,无结菱形目网片和有结绞捻目网片在 $E_1$ 为0.65、0.707、0.60时的线面积为 $0.467 9 \text{ m}^2$ 、 $0.462 7 \text{ m}^2$ 、 $0.481 7 \text{ m}^2$ 和 $0.468 3 \text{ m}^2$ 、 $0.462 1 \text{ m}^2$ 、 $0.482 2 \text{ m}^2$ 。3种网片的线面积计算时,考虑网线的粗度不变( $d=2 \text{ mm}$ ),六角形为正六角形,有结绞捻网片结节直径 $d_k/d=3$ <sup>[17-18]</sup>。

#### 3.2 水平缩结系数差异对网片阻力及运动的影响

相同网片,不同缩结系数之间的差异对网片的阻力性能和运动影响较大,根据有关结论,菱形网片在水平缩结系数为0.707时,网片的利用率最大,用线量最小<sup>[17]</sup>。试验选取的缩结系数均在最佳缩结之内。随着缩结系数的增加,网片的用线量逐渐减少,阻力降低。在缩结为0.65~0.707之间时,网片的用

线量和线面积差异不明显。这也说明在越接近最佳缩结时,网片的阻力和运动变化越相近。根据有关研究<sup>[3]</sup>,六角形网片在 $E_1=0.866$ 时,网片的用线量最小,与菱形目网片相同,在缩结系数越接近0.866时,网片的用线量越小,阻力越小。试验中,六角形网片阻力值随缩结系数的变化正好相反,可能因为六角形网目尺寸较小,以及六角形直边使用双线,网线粗度( $d$ )增加,使得 $d$ 、 $a$ 等因素在阻力中的影响增加。也可能是3种缩结系数之间的线面积的差异不明显,造成了阻力结果较为接近。

根据中国有关学者的聚乙烯网片阻力计算公式<sup>[18]</sup> $R_{90}=k \times S_s \times V^{1.8}$ ( $R_{90}$ —阻力, kg;  $S_s$ —网片线面积;  $k$ —阻力系数,取最大值58.2),试验中,有结和无结菱形目网片阻力与计算结果基本相符,相差不大。六角形目网片在 $E_1=0.707$ 时,阻力最大,与计算结果不符,可能受特殊网目结构的影响,具体原因有待更多试验分析。缩结系数差异对于水平垂直位移的影响不大,这与试验对比网片线面积差异不大有关。由于网片不固定时的流态和运动较复杂,缩结的变化对其影响有待后续研究。

#### 3.3 网片的差异对于网片阻力和运动变化的影响

本实验中无结菱形经编网片与有结菱形绞捻网片阻力,在缩结系数为0.707时,阻力最小,而在稍小的缩结系数下(0.65、0.60)阻力较大,与许柳雄和钟若英观点相符<sup>[17-18]</sup>。对于六角形目网片,在 $E_1=0.866$ 时,网片的缩结面积最大,利用率最高,与菱形网片最佳缩结系数0.707存在差异,其值比菱形网片最佳缩结系数0.707大;当菱形网片在最佳缩结系数时,用线量最少,六角形网片用线量未达到最少。由平面网片的一般公式可知,网片阻力与线面积及网目尺寸相关,而缩结对阻力的影响亦是通过对网片的线面积。相同缩结时,六角形目网片的阻力始终最大,与六角形目网片编织工艺造成的直边网线直径较粗,目脚长度过小有关。

六角形目网片线面积在三者中最大,阻力亦应最大,试验结果趋势与之吻合。菱形网片计算结果表明 $E_1$ 为0.65、0.60时,有结绞捻网片线面积均大于

无结经编网片。而 $E_t = 0.707$ 时,无结经编网片线面积大于有结绞捻网片(考虑结节影响,结节 $d_k/d = 3$ )。试验结果如图1-a、b、c所示,在 $E_t$ 分别为0.65、0.707、0.60的条件下,无结经编网片阻力均大于有结绞捻网片,与理论计算有差异,原因主要是与有结绞捻网片网线光滑,在试验过程中与水摩擦力较小,而经编网片其网线表面粗糙带毛边,与水摩擦力较大有关。另外,理论计算考虑结节直径过大,也是造成计算线面积过大的原因。网片的运动变化随网片结构差异而变化,因为受阻力的影响,六角形目网片的水平和垂直位移最大,有结绞捻网片最小。

### 3.4 网片的阻力性能以及设计分析

在深水网箱中,网衣(网片)是主要受力部分,根据相关研究,整体网片阻力占整个网箱箱体阻力的88.9%<sup>[19-20]</sup>。改善网片网衣的性能对于提高整个箱体的性能有明显的益处。经编网片是网箱中广泛使用的网具材料<sup>[21-22]</sup>,主要为避免网片结节对鱼体表面伤害的影响。通过实验认为:绞捻有结网片其阻力性能优于经编网片。六角形目网片的结构与菱形目不同,试验结果发现,六角形目网片在相同缩结时,阻力更大,与传统观点认为六角形目网片节省阻力略有差异。说明网线粗度 $d$ 和网目结构对阻力的影响要大于缩结对阻力的影响,具体需要进一步的试验分析。3种网片比较表明,在缩结系数 $E_t$ 范围内(0.60~0.707)选用网片时,首先考虑网片网目规格和网线粗度影响,再次考虑网片的结节影响,最后考虑网片的缩结系数的影响。

#### 参考文献:

- [1] 王飞,丁天明.圆柱形网箱锚绳受力特性的数值模拟[J].海洋水产研究,2007,(28)2:36-44.
- [2] 袁军亭.网片的三维力学模型研究及应用[D].上海:上海海洋大学,2007:8-17.
- [3] 宋伟华,杨永位.六角形目孔片的研究[J].水产科技情报,1999,26(6):248-251.
- [4] Fredriksson D W, Swift M R, Irish J D, et al. Fish cage and mooring system dynamics using physical and numerical models with field measurements[J]. Aquacultural Engineering. 2003,27: 117-146.
- [5] Baldwin K, Celikkol B, Steen R, et al. Open aquaculture engineering: mooring and net pen deployment[J]. Mar Technol Soc J,2000,34(1): 53-67.
- [6] Colbourne D B, Allen J H, Observations on motions and loads in aquaculture cages from full scale and model scale measurements[J]. Aquacult Engineering. 2001,24(2): 129-148.
- [7] Fredriksson D W. Open ocean fish cage and mooring system dynamics [D]. Durham: The University of New Hampshire, 2001.
- [8] 石建高,王鲁民,徐卓君.高强度聚乙烯菱形网目经编网片的力学性能初步研究[J]. 2006,36(3): 410-414.
- [9] 石建高,王鲁民.渔用高强度聚乙烯和普通聚乙烯六角形经编网片的拉伸力学性能比较研究[J]. 海洋水产研究,2007,(28)6: 72-76.
- [10] 张立英,侯恩淮,张春桂.用计算机计算拖网网片的剪裁与吃扣缝合[J]. 中国水产科学,1994,1(1): 61-64.
- [11] 李玉成,桂福坤,张怀慧,等.深水养殖网箱试验中网衣相似准则的应用[J].中国水产科学,2005,12(2): 179-186.
- [12] 詹杰民,胡由展,赵陶,等.渔网水动力试验研究及分析[J].中国水产科学,2002,20(2): 49-59.
- [13] SC/T 4014—1995,拖网模型制作方法[S].北京:中国标准出版社,1995.
- [14] SC/T 4011—1995,拖网模型水池试验方法[S].北京:中国标准出版社,1995.
- [15] 许永久,张敏,邹晓荣,等.我国智利竹筴鱼中层拖网网具性能研究[J].上海水产大学学报,2008,17(2): 215-221.
- [16] 王鲁民,黄洪亮,王明彦.圆形重力式网箱阻力性能研究[J].中国海洋大学学报,2006,34(4): 555-559.
- [17] 钟若英,赵瑞生,王维权.渔具材料与工艺学[M].北京:中国农业出版社,1996:177-189.
- [18] 周应祺,许柳雄,何其渝.渔具力学[M].北京:中国农业出版社,2004: 51-71.
- [19] 黄洪亮,王鲁民,王明彦,等.网衣缩结对圆柱形网箱性能影响的初步研究[J].海洋渔业,2004,(26)3: 215-219.
- [20] 章守宇,刘洪生.飞碟形网箱的水动力学数值算法[J].水产学报,2002,26(6): 519-528.
- [21] 郑岳夫,李家乐,郑凯宏,等.抗风浪围网式软网箱和传统网箱养殖效果的比较[J].水产学报,2002,26(增): 8-13.
- [22] 张健,孙满昌.碟形网箱网片阻力理论计算探讨[J].海洋渔业,2002,24(增刊): 75-79.

## Resistance characteristics and motion change of three kinds of nets used for sea cage

HUANG Hong-liang, XU Yong-jiu, WANG Lei, FENG Chun-lei, ZHAN Xun, ZHANG Yu, ZHOU Ai-zhong

(East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences; Key and Open Laboratory of Marine and Estuarine Fisheries, Ministry of Agriculture, Shanghai 200090, China)

**Abstract:** The Raschel Hexagonal Net (RHN), the Knotless Raschel Netting in Diamond Mesh (KRNDM) and the Knotted Twisting Netting in Diamond Mesh (KTNDM), with each of horizontal length of hanging and vertical length of hanging being 1.7 m, were studied by the model test in the flume tank. Based on the comparison through change of hanging ratios under different velocity of flow ( $E_t$  as 0.65, 0.707, 0.60 respectively), the results of netting resistance characteristics and motion change (horizontal displacement and vertical displacement) were obtained: (1) The resistance of Netting in Diamond Mesh was inversely proportional to the hanging ratio between the range 0.60 and 0.707 during fixation. The netting resistance of RHN was the highest of the three under the test conditions. The RHN was not well correlated with the hanging ratio. The difference value between every two nets increased with the velocity of flow. (2) The variation of Horizontal Displacement (HD) and Vertical Displacement (VD) influenced by hanging ratios differs with kinds of net. The HD and VD was inversely proportional to the hanging ratio between the range 0.60 and 0.707 during fixation. Under the same hanging ratios, the HD and VD of RHN was the highest, the next was for KRNDM, and the lowest was for KTNDM. The netting resistance, HD and VD were correlated with the line area. Within the range of 0.60 to 0.707 during the net designing process, the net structure and line thickness should be paid the most attention, the next is for net node, and the last is for hanging ratio. [Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16 (4): 596–604]

**Key words:** netting resistance; hanging ratio; horizontal displacement; vertical displacement