

# 圆形重力式网箱流场效应的 试验研究

刘超<sup>1,2</sup>, 关长涛<sup>2</sup>, 崔勇<sup>2</sup>, 赵侠<sup>2</sup>, 李梦杰<sup>1,2</sup>, 李真真<sup>1,2</sup>, 王腾腾<sup>1,2</sup>

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306; 2. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室, 青岛市海水鱼类种子工程与生物技术重点实验室, 山东青岛 266071)

**[摘要]** 为探索圆形重力式网箱在动态流场中的水动力学特性, 同时获得网箱系统内部与周围流场分布及流速变化规律, 设计了4种不同网目形状和不同网目大小的网箱模型(C1、C2、C3、C4), 选取4种不同水流流速(0.068 m/s、0.105 m/s、0.143 m/s、0.182 m/s), 分别采用声学多普勒流速仪(ADV)和粒子图像测速(PIV)技术对网箱系统内外的流速及流场变化进行测定。结果表明, ADV试验与PIV技术测量结果基本一致; 来流速度不同时, 单个网箱范围内的水流衰减程度差异不大; 来流速度相同时, 小网目网箱的减流效果优于大网目网箱; 网目大小相同时, 菱形网目网箱减流效果优于方形网目网箱; 群组网箱减流效果明显, 且随着水流通过网箱数目的增加, 网箱内与网箱后的流速降低明显, 其中第2个网箱中心的流速衰减率已经达到了67.6%, 第4个网箱中心的流速衰减率为88.2%, 网箱后的流速衰减率为72.1%。研究结果可为养殖生产实践中网箱类型的选择提供理论参考。

**[关键词]** 网箱; ADV; PIV; 流速; 流场分布

**[中图分类号]** S953.9 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2014)09-0069-09

## 1 前言

海水网箱养殖一般是在自然海区的开放环境下进行的, 然而外海水域的海况复杂, 深水区浪高、流急, 网箱系统必须有抵抗大浪、强流的能力。这也是深海网箱抗风浪和耐流技术成为制约深水网箱养殖的主要技术瓶颈, 而深水网箱系统的水动力特性研究是解决这一技术瓶颈所必需的基础性研究<sup>[1]</sup>。研究表明, 网衣网目大小、网目形状及网箱的形状都与网箱系统流场分布有关, 其中网衣对流速的衰减作用尤为突出。网衣为多孔柔性的小尺度结构体<sup>[2,3]</sup>, 周围流场较为复杂, 诸多学者对网衣周围流场做了不同的研究。Aarsnes等<sup>[4]</sup>较早地研究了

网箱系统内外水流流场的分布情况, 并获得了流速衰减的规律。Zhao等<sup>[5~8]</sup>对重力式网箱在水流急波浪环境下的水流效应进行了研究, 并得到一定的衰减规律。Patursson<sup>[9]</sup>采用模型试验对平面网衣后的流场分布情况进行了研究, 并得到了水流的变化规律。宋伟华等<sup>[10]</sup>也通过模型试验探究了方形网箱外部流速分布情况, 结果表明网衣对网箱外部的流场分布影响显著。黄六一等<sup>[11]</sup>通过对网箱在水流作用下的形状变化的研究, 得出网箱在水流作用下会发生变形, 从而影响网箱的有效养殖面积。本文以4组网箱模型为研究对象, 在4种流速下, 通过声学多普勒流速仪(ADV)定点测流速和粒子图像测速(PIV)技术进行流场测试, 对比分析网箱各要素

**[收稿日期]** 2014-07-01

**[基金项目]** 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-50); 国家自然科学基金(31101938, 51239005); 山东省科技发展计划项目(2009GG10005005)

**[作者简介]** 关长涛, 1962年出生, 男, 辽宁凤城市人, 研究员, 研究方向为设施渔业工程技术; E-mail: guanct@ysfri.ac.cn

对网箱周围流场的影响,为实际生产提供借鉴。

相机、测力计和计算机等。

## 2 材料与方法

### 2.1 试验设备

本试验在大连理工大学海岸和近海工程国家重点实验室PIV试验波流水槽中进行。水槽长为22 m,宽为0.45 m,高为0.6 m,试验水深设定为恒定水深0.4 m,对应原型水深20 m。试验中根据实际海况、网箱的种类以及实验水槽等的限制因素,确定模型试验的模型比尺为1:50,模型网箱尺寸如图1所示,对应周长为40 m的原型网箱。在圆形网箱的基础上,建立4个网箱模型如图2所示,模型网箱各参数如表1所示。其他设备主要有造流系统、ADV、电荷耦合元件(CCD)图像采集系统、数据采集系统、激光器、示踪粒子(聚氯乙烯(PVC)粉末)、

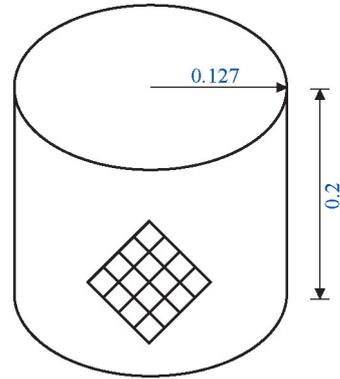
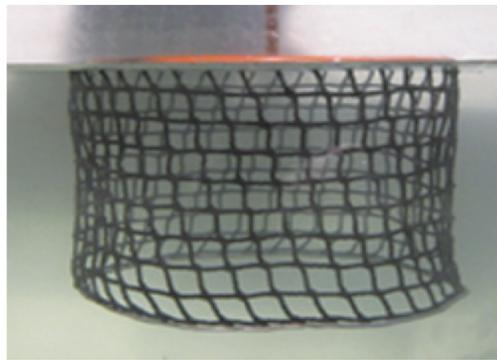


图1 模型网箱尺寸(单位:m)

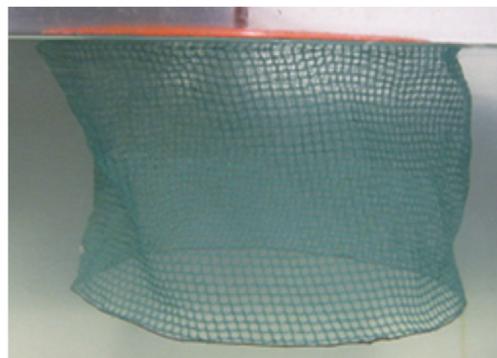
Fig. 1 Size of net cage model (unit: m)



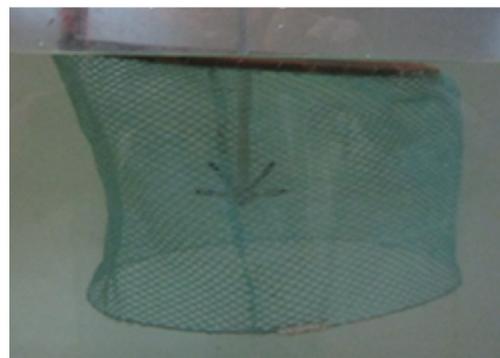
(a) 圆形网箱方形网衣 (C1)



(b) 圆形网箱菱形网衣 (C2)



(c) 圆形网箱方形网衣 (C3)



(d) 圆形网箱菱形网衣 (C4)

图2 4种不同类型网箱模型

Fig. 2 Four kinds of net cage models

表1 模型网箱各单位参数

Table 1 Parameters of each cells on net cage models

网箱编号	网箱形状	网目形状	目脚长度/mm	网线直径/mm	结节情况
C1	圆形网箱	方形	20	2.5	无结节
C2	圆形网箱	菱形	20	2.5	无结节
C3	圆形网箱	方形	5	1	无结节
C4	圆形网箱	菱形	5	1	无结节

## 2.2 试验方法与内容

PIV技术克服了流场中单点测量的局限性<sup>[12-14]</sup>,可对流场进行无接触、无干扰、高精度的测量,是研究水流瞬时流态的有效手段。示踪粒子为PVC粉末,图像分析系统采用美国TSI公司生产的粒子图像测试系统。当三维ADV显示的流速达到试验流速时,用CCD照相机对网箱系统内外进行拍照,每次采集8组图像,每组图像采集的时间间隔平均为0.038 s<sup>[15]</sup>。然后对采集到的图像进行整理、分析和处理就可得到网箱周围流场分布。将ADV试验结果与PIV测得的流场分布结果进行对比,如果结果吻合度较好,则说明这两种测量方法的可信度高,贴近实际情况。模型流速设为0.06 m/s, 0.10 m/s, 0.14 m/s和0.18 m/s;对应的原型流速为0.481 m/s, 0.742 m/s, 1.011 m/s和1.287 m/s。试验中测得流速为0.068 m/s, 0.105 m/s, 0.143 m/s和0.182 m/s。

### 2.2.1 ADV测流速

1) 单体网箱测流试验。在4种不同水流流速下分别对4种单体模型网箱进行ADV试验,试验布置图如图3所示,测量点1的速度即为来流速度,比较各测量点的实际速度,计算出水流流速衰减率,选择较优的一组网箱模型。

2) 群组网箱测流试验。本试验以单体网箱测流试验为基础,在其中选择较优的一组模型网箱作为研究对象进行试验,试验布置图如图4所示,其中测量点1为原点,分别测量各个点的水流流速,并进行比较。

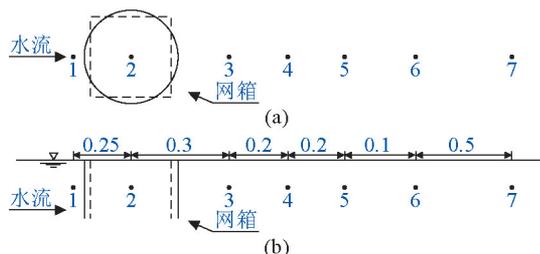


图3 单体网箱流速测量的横切图(a)和纵切图(b)  
(单位:m)

Fig. 3 The horizontal view (a) and vertical view (b) for velocity measurement of single net cage (unit: m)

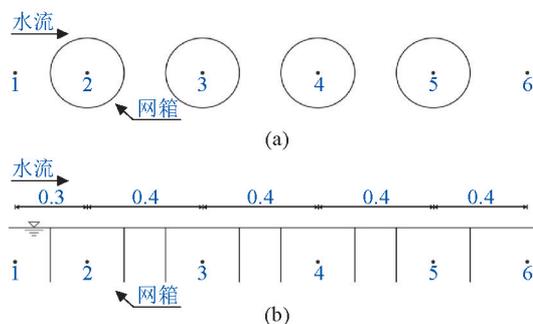


图4 群组网箱流速测量的横切图(a)和纵切图(b)  
(单位:m)

Fig. 4 The horizontal view (a) and vertical view (b) for velocity measurement of multiple net cages (unit: m)

### 2.2.2 PIV测流场

本试验在4种不同水流流速下,用PIV技术测定4种不同类型模型网箱某一铅直切面上的流场分布情况,具体试验设计如图5所示。

## 3 试验结果与分析

试验前对PIV和ADV的测速差异进行校对<sup>[16]</sup>。试验结果表明不同来流速度下流场测量误差基本一致。通过ADV测定网箱流速,将得到的数据进行对比,绘制成图表,分别对相同网目尺寸、不同网目形状及相同网目形状、不同网目尺寸的网箱进行比较,选择减流效果较好的网箱类型,进而为群组网箱水流流速测定试验奠定基础。通过PIV技术,对网箱周围流场变化进行测定,结合ADV测流结果,进行最优网箱组合的选择。

### 3.1 网箱流速变化

#### 3.1.1 单体网箱流速变化分析

根据图3,分别采集各测量点在不同来流时的流速,整理结果如图6所示,其中x表示测量点距离原点的水平距离。

对于同一个网箱模型,不同来流速度通过网箱时的最低水流流速均出现在500~900 mm,并且对于不同来流速度水流最大衰减率差异不大,因此随机选择来流速度为 $u_0=0.182$  m/s,对4种类型的网箱进行分析比较,得出如下结论:C1、C2、C3和C4的

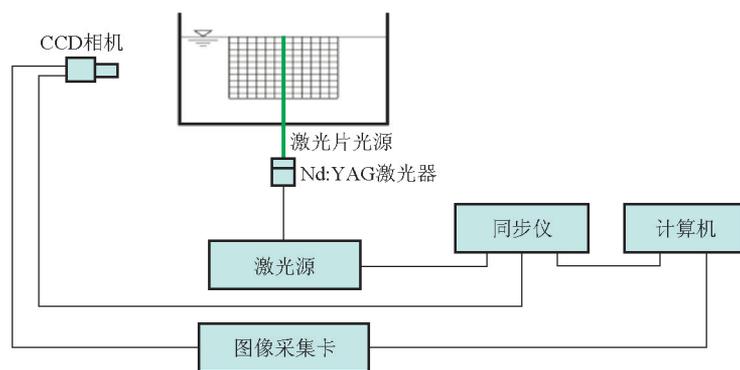


图5 PIV试验装置示意图

Fig. 5 Schematic of the PIV test set

最大流速衰减率分别为33.5%、45.1%、54.9%和62.1%，即C4 > C3 > C2 > C1，说明小网目网衣减流效果整体优于大网目网衣；由于C1 < C2、C3 < C4，说明相同网目尺寸的网箱，菱形网目网箱减流效果优于方形网目网箱。

在出现最低水流速度处之后，网箱对来流的影响依然存在，流速随着距离的增加逐渐增大。在测量点1700 mm处，水流速度仍然小于来流速度，可见网箱对水流的减流影响范围很大。

综合以上结果，水流在穿过网箱时流速锐减；小网目网衣对水流的影响大于大网目网衣，来流穿

过网箱时，水流减小的幅度更大；对比相同材质的菱形网目网箱和方形网目网箱，水流穿过菱形网目网箱时流速减小幅度较大，即菱形网目网箱在减流方面优于方形网目网箱。

### 3.1.2 群组网箱流速变化分析

由单体网箱水流变化试验可知小网目网箱减流效果优于大网目网箱，但网目太小也有很大的安全隐患，如水流交换差、网衣附着生物严重、承受力大和容易损坏等，因而在实际生产中必须慎重考虑。

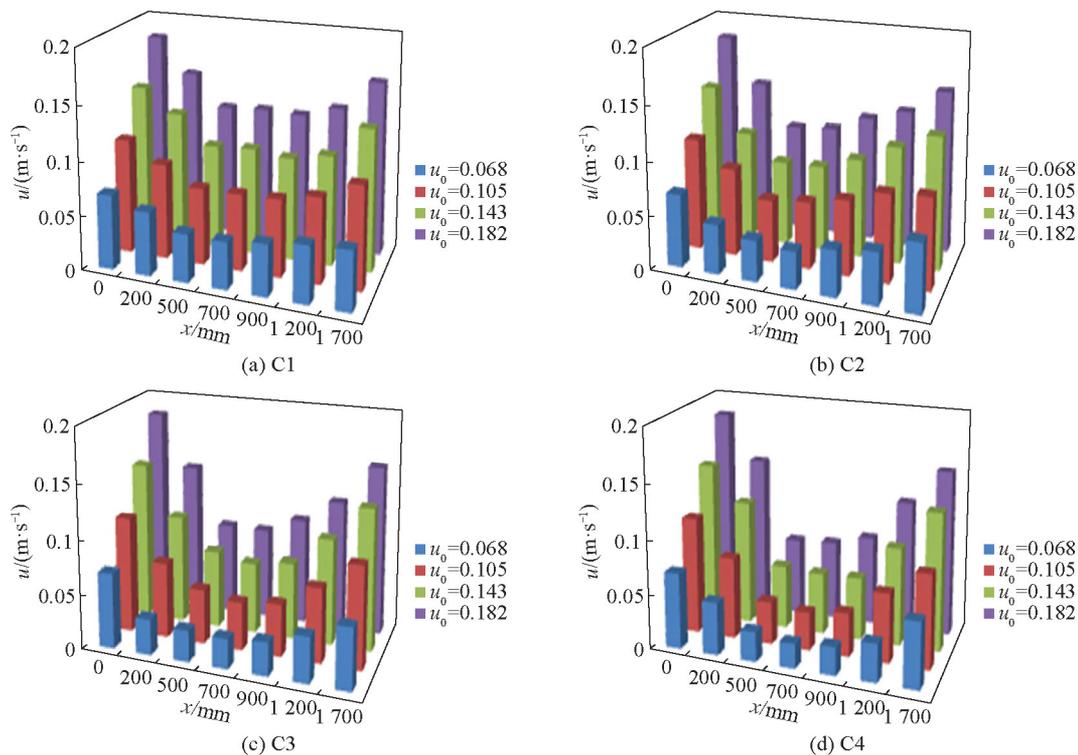


图6 各网箱的ADV测量结果

Fig. 6 The ADV measurement results of each net cage

基于以上考虑,笔者选择C2网箱作为本试验研究对象,以4个C2网箱为一群组,迎流方向相邻的两个网箱的中心间距为0.4 m,ADV分别测量群组前后以及4个中心点的流速,结果如图7所示。

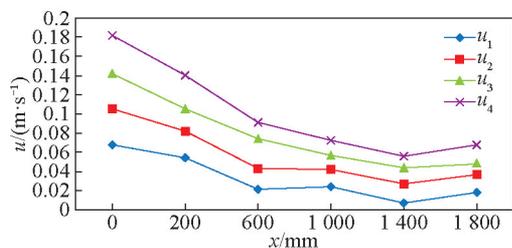


图7 网箱群组的ADV测量结果

Fig. 7 The ADV measurement results of multiple net cages

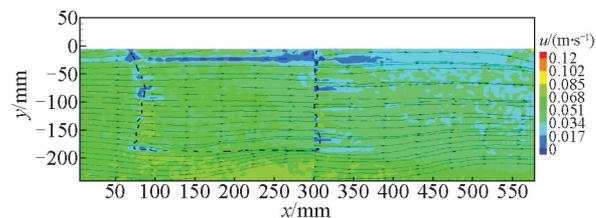
随着网箱数量的累加,流速是不断减小的;其中,4个网箱中心的流速最大衰减率依次为25.9%、67.6%、63.2%和88.2%,网箱后的流速衰减率为72.1%。群组网箱的减流效果显著,且第2个网箱已经可以减流50%以上,对养殖动物可以起到很好的保护作用,因此在流速较大的海区,可以考虑在养殖网箱前增加一个空网箱来保护养殖动物。

### 3.2 网箱流场分析

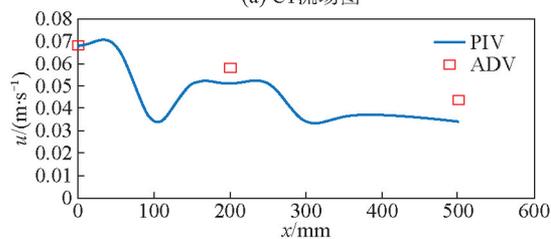
对4种单体网箱进行PIV流场试验,在4种流速下进行图像采集,再对所得图像进行分析和计算,从而得到流场情况,进而得到网箱周围的流场分布情况。

$u_0=0.068$  m/s时,C1流场分布结果如图8所示,其中 $x$ 表示测量点位置, $y$ 表示水深,虚线框为网箱,下同。100 mm处,水流流速为0.034 m/s,水流流速衰减率达到50%;200 mm处,水流流速为0.051 m/s,水流流速衰减率为25%;300 mm处,水流流速为0.034 m/s,水流流速衰减率为50%;500 mm处,水流流速为0.034 m/s,水流流速衰减率为50%;网箱底部水流流速明显大于来流速度。由图8b可以看出,PIV与ADV试验结果基本吻合。

$u_0=0.105$  m/s时,C1流场分布结果如图9所示。100 mm处,水流流速为0.035 m/s,水流流速衰减率达到66.67%;200 mm处,水流流速为0.071 m/s,水流流速衰减率为32.38%;300 mm处,水流流速为0.053 m/s,水流流速衰减率为49.52%;500 mm处,水流流速为0.071 m/s,水流流速衰减率为32.38%。



(a) C1流场图



(b) PIV与ADV对比图

图8 C1流场分布结果( $u_0=0.068$  m/s)

Fig. 8 Flow field distribution results of C1( $u_0=0.068$  m/s)

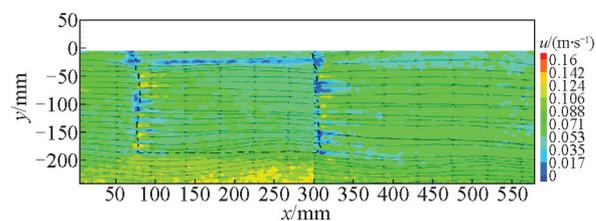


图9 C1流场分布结果( $u_0=0.105$  m/s)

Fig. 9 Flow field distribution results of C1( $u_0=0.105$  m/s)

$u_0=0.143$  m/s时,C1流场分布结果如图10所示。100 mm处,水流流速为0.080 m/s,水流流速衰减率达到44.06%;200 mm处,水流流速为0.115 m/s,水流流速衰减率为19.58%;300 mm处,水流流速为0.070 m/s,水流流速衰减率为51.05%;500 mm处,水流流速为0.073 m/s,水流流速衰减率为48.95%。

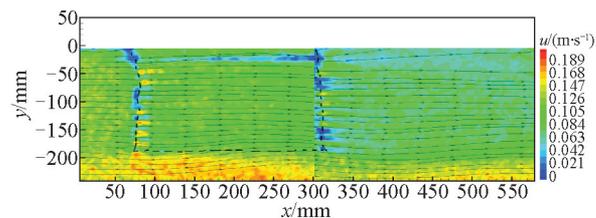


图10 C1流场分布结果( $u_0=0.143$  m/s)

Fig. 10 Flow field distribution results of C1( $u_0=0.143$  m/s)

$u_0=0.182$  m/s 时, C1 流场分布结果如图 11 所示。100 mm 处, 水流流速为 0.138 m/s, 水流流速衰减率达到了 23.08%; 200 mm 处, 水流流速为 0.151 m/s, 水流流速衰减率为 17.03%; 300 mm 处, 水流流速为 0.111 m/s, 水流流速衰减率为 39.01%; 500 mm 处, 水流流速为 0.102 m/s, 水流流速衰减率为 43.96%。由图 11b 可看出, PIV 与 ADV 试验结果基本一致。

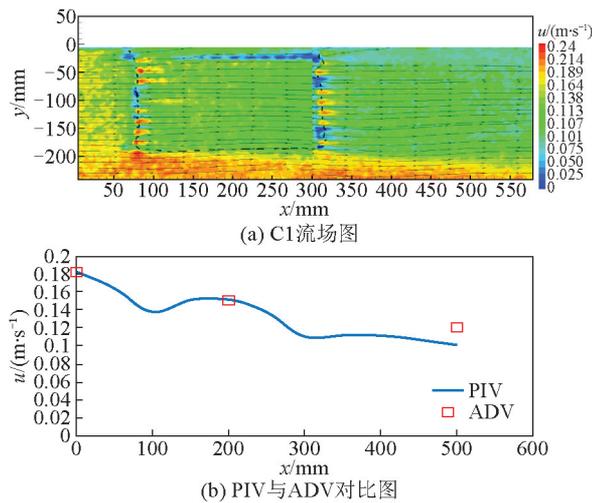


图 11 C1 流场分布结果 ( $u_0=0.182$  m/s)

Fig. 11 Flow field distribution results of C1 ( $u_0=0.182$  m/s)

综上所述, 在水流第一次流经网衣时, 水流折流较大; 之后水流逐渐增大, 水流经过网箱后面网衣时, 水流骤减; 待水流完全经过网箱时, 随着距离的增加, 水流流速慢慢增大; 网箱 C1 的流场在小流速时相对平稳, 大流速时网箱的底部流速较大, 且随着距离的增加, 流速缓慢降低; 不论流速大小, PIV 与 ADV 试验结果基本一致。

$u_0=0.143$  m/s 时, C2 流场分布结果如图 12 所示。100 mm 处, 水流流速为 0.063 m/s, 水流流速衰减率达到 55.94%; 200 mm 处, 水流流速为 0.084 m/s, 水流流速衰减率为 41.26%; 300 mm 处, 水流流速为 0.053 m/s, 水流流速衰减率为 62.94%; 500 mm 处, 水流流速为 0.073 m/s, 水流流速衰减率为 48.95%。将图 12 与图 10 中 C2 与 C1 在 100~300 mm 范围内的水流流速进行比较, 对应位置 C2 水流流速均小于 C1, 说明 C2 的减流能力要优于 C1。

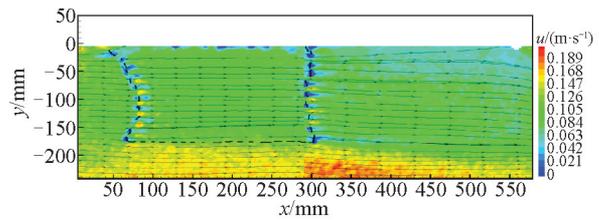


图 12 C2 流场分布结果 ( $u_0=0.143$  m/s)

Fig. 12 Flow field distribution results of C2 ( $u_0=0.143$  m/s)

$u_0=0.182$  m/s 时, C2 流场分布结果如图 13 所示。其结论与  $u_0=0.143$  m/s 时基本一致。比较图 13 与图 12, 在两种来流流速下, 网箱 C2 内流场线都比较规律, 流场都比较稳定, 网箱变形不明显。

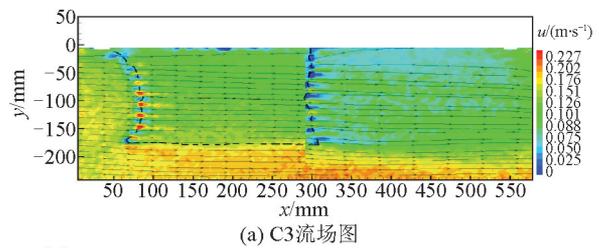


图 13 C2 流场分布结果 ( $u_0=0.182$  m/s)

Fig. 13 Flow field distribution results of C2 ( $u_0=0.182$  m/s)

比较图 13 与图 12, 在两种来流流速下, 网箱 C2 内流场线都比较规律, 流场都比较稳定, 网箱变形不明显。

$u_0=0.182$  m/s 时, C3 流场分布结果如图 15 所示。100 mm 处, 水流流速为 0.126 m/s, 水流流速衰减率达到 30.77%; 200 mm 处, 水流流速为 0.063 m/s, 水流流速衰减率为 65.38%; 300 mm 处, 水流流速为 0.056 m/s, 水流流速衰减率为 69.23%; 500 mm 处, 水流流速为 0.025 m/s, 水流流速衰减率为

$u_0=0.182$  m/s 时, C4 流场分布结果如图 14 所示。比较图 14b 与图 13b 中 C4 与 C2 在测量点 100~300 mm 的水流流速, 对应位置 C4 水流流速均小于 C2, 说明 C4 的减流能力要优于 C2; 但比较箱内流线情况可知, C4 内的流线较乱, 并且网箱变形严重, 因此 ADV 与 PIV 测量结果略有差异。

86.26%。C3的减流效果也较好,但网箱变形严重,流线也较紊乱。

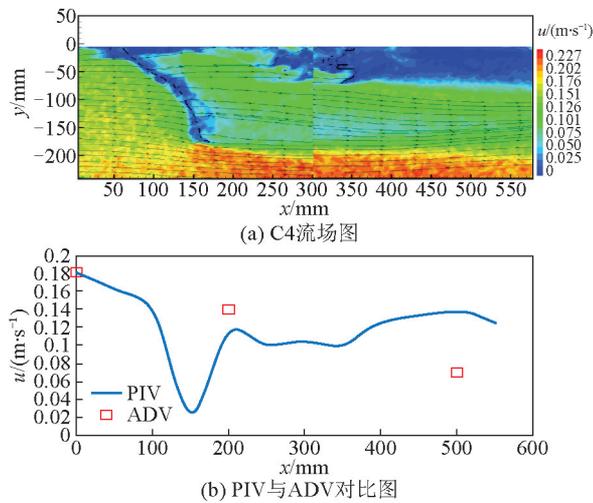


图14 C4流场分布结果( $u_0=0.182$  m/s)

Fig. 14 Flow field distribution results of C4( $u_0=0.182$  m/s)

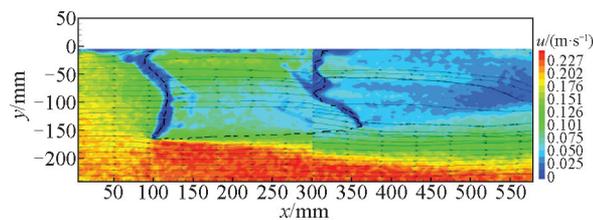


图15 C3流场分布结果( $u_0=0.182$  m/s)

Fig. 15 Flow field distribution results of C3( $u_0=0.182$  m/s)

综合以上分析可知,PIV与ADV测量结果基本吻合;从减流效果方面来看,菱形网目优于方形网目,小网目网衣优于大网目网衣。从PIV流场图可以明显看出,小网目网衣变形严重,对周围水环境影响较大,对测量结果也有一定的影响,在实际生产中也要充分考虑这一点。

#### 4 讨论

通过PIV流场分析以及ADV定点流速分析可知,水流穿过网箱时,流速显著变小,网箱对水流流速的衰减率甚至达到一半以上。网衣网目的大小以及网衣网目形状都与网箱的减流作用有直接关系。其中,小网目的网衣减流能力优于大网目,小网目的密实度明显大于大网目,减流效果更好。然而,小网目的网衣减流大导致网箱受力增大,也容易导致网衣破损,另外也会导致网箱变形严重,有

效养殖面积降低,这些都不利于养殖生产。有研究表明,流速为 $0.75$  m/s时,网箱容积的损失率就达到了 $47\% \sim 56\%$ ,网衣变形比较严重,导致有效养殖面积锐减。菱形网衣的密实度为 $0.272$ ,而方形网衣的密实度为 $0.243^{[17]}$ ,因此,菱形网衣的减流效果优于方形网衣,这也与试验结果是一致的。群组网箱对水流的减流效果比较理想,越靠后的网箱承受的流速越小,迎流方向上的第2个网箱已经可以减流 $50\%$ 以上,第4个网箱的流速衰减率为 $88.2\%$ 。

由Zhao等<sup>[6]</sup>利用网箱数值模拟的流场分布可知,网衣前有一定范围的流速衰减区域,该衰减区域比较小;网衣后的流速衰减区域的范围相对较大,其宽度几乎与网衣宽度相同,并且随着与网衣距离的增加而变窄,同时网衣两侧及网底水流流速也相应增大。由试验的PIV流场分析图也可以看出,网衣前流速比来流速度偏小,可能是由网衣的扰流作用引起的;网箱底部颜色较深,即水流大;网箱后的流速变化与网箱高度和宽度密切相关,距离网箱越远,流速衰减的面积越小,而且颜色逐渐加深,即流速逐渐增大。宋伟华等<sup>[10]</sup>在方形网箱减流试验中的流速测试范围为网箱后 $50 \sim 125$  cm的两个水层,结果显示网箱减流效果明显,网箱尾部的减流区域集中在网袋与来流垂直的投影面中部,而网箱两侧的流速略有增加。这与试验结果是一致的。

#### 5 结语

根据ADV对4组圆形网箱模型在不同水流流速下分别进行单体和群组网箱流速的测定,以及PIV技术对网箱内外流场分布的测定结果,通过分析相关数据可得出以下结论。

1) 4组单体网箱在相同来流速度情况下,对水流均具有不同程度的减流效果;但对于相同网目大小的网箱,菱形网目网箱减流效果优于方形网目网箱;而对于相同网目形状网箱,小网目网衣网箱减流效果优于大网目网衣网箱。

2) 群组网箱对水流的减流效果比较明显,并且随着网箱数量的增加,水流流速逐渐降低,在实际生产过程中可以在养殖网箱前面设置一个空网箱,进行减流。

3) 在不同水流流速下,大网目网箱内外流场分布比较均匀,稳定性较好,而小网目网箱的流线比较紊乱,网箱变形严重,这将影响网箱内水体交换并降低有效养殖面积。

根据以上试验结果,在网箱养殖生产实践中选择网箱时,不仅要考虑网箱的减流情况,还要充分考虑网箱的稳定性问题;通过在网箱前面建立一个减流堤,可以有效地减流,增强网箱的稳定性。本文主要研究了4种模型网箱在水流作用下的流场分布情况,从中得到了一些规律和启示,可为网箱养殖在生产实践中的应用提供借鉴。

#### 参考文献

- [1] 李玉成, 赵云鹏. 深水抗风浪网箱水动力学特性研究[C]//中国海洋工程学会, 编. 第十四届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集. 北京: 海洋出版社, 2009: 16-20.
- [2] Gui Fukun, Li Yucheng, Zhao Yunpeng, et al. A model for the calculation of velocity reduction behind a plane fishing net [J]. *China Ocean Engineering*, 2006, 20(4): 615-622.
- [3] 苏 炜, 詹杰民. 等效网面法在模型网的水动力特性中的应用[J]. *水动力学研究与进展(A辑)*, 2007, 22(3): 267-272.
- [4] Aarsnes J V, Rudi H, Loland G. Current forces on cage, net deflection [C]// *Engineering for Offshore Fish Farming*. Glasgow, UK, 1990: 137-152.
- [5] Zhao Yunpeng, Li Yucheng, Dong Guohai, et al. Numerical simulation of the effects of structures ratio and mesh type on the three-dimensional deformation of the fishing-net gravity cage in current [J]. *Aquacultural Engineering*, 2007, 36(3): 285-301.
- [6] Zhao Yunpeng, Li Yucheng, Dong Guohai, et al. Numerical simulation of hydrodynamic behaviors of gravity cage in waves [J]. *China Ocean Engineering*, 2007, 21(2): 225-239.
- [7] Zhao Yunpeng, Li Yucheng, Dong Guohai, et al. A numerical study on dynamic properties of the gravity cage in combined wave-current flow [J]. *Ocean Engineering*, 2007, 34(17/18): 2350-2363.
- [8] Zhao Yunpeng, Li Yucheng, Dong Guohai, et al. An experimental and numerical study of hydrodynamic characteristics of submerged flexible plane nets in waves [J]. *Aquacultural Engineering*, 2008, 38(1): 16-25.
- [9] Patursson Ø. Tow tank measurements of drag and lift force on a net panel and current reduction behind the net panel [R]. Faroe Islands: University of the Faroe Islands, Technical Report NV-DRit2007: 10, 2007.
- [10] 宋伟华, 马家志, 吕永林, 等. 方形网箱减流效果的试验与应用[J]. *浙江海洋学院学报(自然科学版)*, 2007, 26(4): 378-383.
- [11] 黄六一, 梁振林, 赵芬芳, 等. 网箱形状在海流中变化特性的模型试验[J]. *中国海洋大学学报*, 2006, 36(2): 245-248.
- [12] Westerweel J. Fundamentals of digital particle image velocimetry [J]. *Measurement Science and Technology*, 1997, 8(12): 1379-1392.
- [13] 王灿星, 林建忠, 山本富士夫. 二维PIV图像处理算法[J]. *水动力学研究与进展(A辑)*, 2001, 16(4): 399-404.
- [14] 孙鹤泉, 康海贵, 李广伟. PIV的原理与应用[J]. *水道港口*, 2002, 23(1): 42-45.
- [15] 刘 彦, 关长涛, 赵云鹏, 等. 水流作用下星体型人工鱼礁二维流场PIV试验研究[J]. *水动力学研究与进展(A辑)*, 2010, 25(6): 777-783.
- [16] 胡海豹, 宋保维, 阮 驰, 等. PIV水下流场测试系统试验研究[J]. *光子学报*, 2007, 36(10): 1928-1932.
- [17] Bi Chunwei, Zhao Yunpeng, Dong Guohai, et al. Experimental investigation of the reduction in flow velocity downstream from a fishing net [J]. *Aquaculture Engineering*, 2013, 57: 71-81.
- [18] 赵云鹏, 李玉成, 董国海, 等. 重力式网箱数值模拟时波浪理论选择[J]. *海洋工程*, 2008, 26(1): 29-39.

## Experimental study on flow field effect of circular gravity net cage

Liu Chao<sup>1,2</sup>, Guan Changtao<sup>2</sup>, Cui Yong<sup>2</sup>, Zhao Xia<sup>2</sup>,  
Li Mengjie<sup>1,2</sup>, Li Zhenzhen<sup>1,2</sup>, Wang Tengpeng<sup>1,2</sup>

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Qingdao Key Laboratory for Marine Fish Breeding and Biotechnology, Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao, Shandong 266071, China)

**[Abstract]** In order to understand hydrodynamic characteristics of circular gravity net cage in varied flow field, and obtain both the flow velocity variations and flow field distribution inside and around net cages, four models (C1, C2, C3, C4) were designed to be measured at specific measurement points at a velocity of 0.068 m/s, 0.105 m/s, 0.143 m/s and 0.182 m/s by acoustic Doppler velocimeter (ADV) and particle image velocimetry (PIV) technique. The experimental data showed that the measurement result of ADV was basically the same with that of PIV tech-

nique. The ratio of flow velocity reduction inside a net cage remained approximately the same in different flow velocities. On the effect of the flow velocity reduction, the net cages with small mesh did better than the net cages with big mesh, and the net cages with diamond mesh did better than the net cages with round mesh at the same flow velocity. As current flowed through multiple net cages, the flow velocity was gradually reduced. The flow velocity inside and downstream from the net cages decreased with increasing number of net cages. The flow velocity reduction was 67.6 % inside the second net cage, 88.2 % inside the fourth net cage, and 72.1 % downstream from multiple net cages. This research can provide a reference to a suitable type of net cages used in aquaculture production practice.

**[Key words]** net cage; ADV; PIV; flow velocity; flow field distribution