

## 高密度聚乙烯圆形网箱锚绳受力实测研究

郭根喜, 黄小华, 胡昱, 陶启友, 古恒光

(中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300)

**摘要:** 选择广东省湛江市深水网箱养殖基地作为实测地点。通过实测试验测量深水网箱在实际海流条件下的锚绳受力状况, 给出了单个网箱和组合网箱分别在3种不同网衣方案情况下的锚绳受力结果, 旨在为深水网箱的设计及其锚泊系统的优化提供重要参考数据。结果表明, 锚绳力随流速的增大而增大, 锚绳受力与流速具有一定的正比关系; 在3种不同网衣方案条件下, 小网目网衣方案(网目40 mm)的锚绳受力最大, 单个网箱的锚绳力峰值和锚绳合力分别为3.73 kN和5.01 kN, 组合网箱的锚绳力峰值和锚绳合力分别为5.67 kN和20.83 kN; 单纯浮架受力在整体网箱的受力中所占比重较小。结论认为, 鉴于实际海况下网箱同侧各道锚绳的受力差异较大, 在评价锚绳的安全性能时, 应取各道锚绳受力峰值中的最大值作为单锚绳的允许受力值。[中国水产科学, 2010, 17(4): 847-852]

**关键词:** 深水网箱; 锚绳; 受力状况; 实测研究

**中图分类号:** S96

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-8737-(2010)04-0847-06

深水网箱养殖具有抗风浪能力强、养殖效益高、病害发生率低、生态效益明显等传统网箱养殖所无法比拟的优势。自从2001年中国研制出首套具有自主知识产权的高密度聚乙烯(HDPE)圆形深水网箱后, 深水网箱养殖已呈现出持续、快速、健康发展的趋势<sup>[1]</sup>。截至2008年底, 中国现有HDPE圆形深水网箱数量2 000余个, 初步形成了规模化、产业化发展格局<sup>[1]</sup>。HDPE圆形网箱的结构组成主要包括浮架系统、网衣系统、配重系统和锚泊系统。由锚绳组成的锚泊系统是网箱系统安全的重要保证之一, 在网箱抵抗风浪的侵袭中扮演着重要的角色, 其主要作用是与浮架相连将网箱限制在一定范围内运动, 确保网箱系统的正常运作<sup>[2]</sup>, 并避免在恶劣海况下网箱因遭受大浪、强流的直接冲击而发生整体损坏。因此, 研究网箱锚绳的受力状况具有十分重要的意义。

国内外关于网箱锚绳受力特性已进行了较多的研究, 其研究成果多集中于网箱小比例尺模型试验<sup>[3-9]</sup>以及网箱计算机数值模拟<sup>[8-12]</sup>方面, 而对于网箱实际海洋工况下的锚绳受力实测试验研究尚未见报道。本课题研究为弥补此方面的不足, 选择广东湛江特呈岛海域的深水网箱基地作为实测地点, 在实际海流条件下测试锚绳受力情况, 旨在为网箱锚绳受力的模型试验以及数值模拟结果提供数据参考, 从而进一步为深水网箱的设计及其锚泊系统的优化提供理论依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 实验网箱及设备

试验选用的网箱为HDPE圆型网箱, 其由浮架、网衣、配重及锚泊系统组成, 各部件参数如下:

浮架: HDPE双浮管, 周长40 m, 浮管截面直径

收稿日期: 2009-11-29; 修订日期: 2010-01-06.

基金项目: 国家863计划项目(2006AA100302; 2006AA100301); 国家科技支撑计划项目(2006BAD09A14); 广东省科技计划项目(2008B021000042); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目(2007YD04; 2010YD09).

作者简介: 郭根喜(1956-), 男, 研究员, 从事海洋渔业及渔业设施研究. E-mail: scsggx@21cn.com

250 mm,壁厚 15 mm,浮架总重量 12.7 kN。

网衣: PE 材质,圆台形,上底周长 39 m,下底周长 29 m,高 5.8 m,缩结系数 0.707,试验用网衣的网目大小分为 40 mm 和 75 mm 两种。

配重: 混凝土制作,圆柱形,悬挂在网衣底端,每个网箱配重 10 × 35 kg。

锚绳: PE 绳,单根长度 50 m,直径 30 mm。

本次现场试验选用的网箱形式有单个网箱和组合网箱(4个网箱组合)2种,其网箱布置如图1所示。

试验所需测量设备有拉力传感器(量程为 10 t)、无纸记录仪和旋桨式流速仪等(图2)。无纸记录仪的记录时间间隔设定为 1 s,采用蓄电池供电,通过电缆线将传感器信号输送到无纸记录仪上。流速仪布置在网箱正前方约 20 m 处的工作船上,用于测量海流速度。现场试验时,将无纸记录仪和蓄电池一起放置在一个由不锈钢材料制作的特制防护箱内,以防止海水渗入损坏设备。防护箱安装固定在网箱内外浮管的连接件上,波浪流条件下可随网箱框架一起运动。

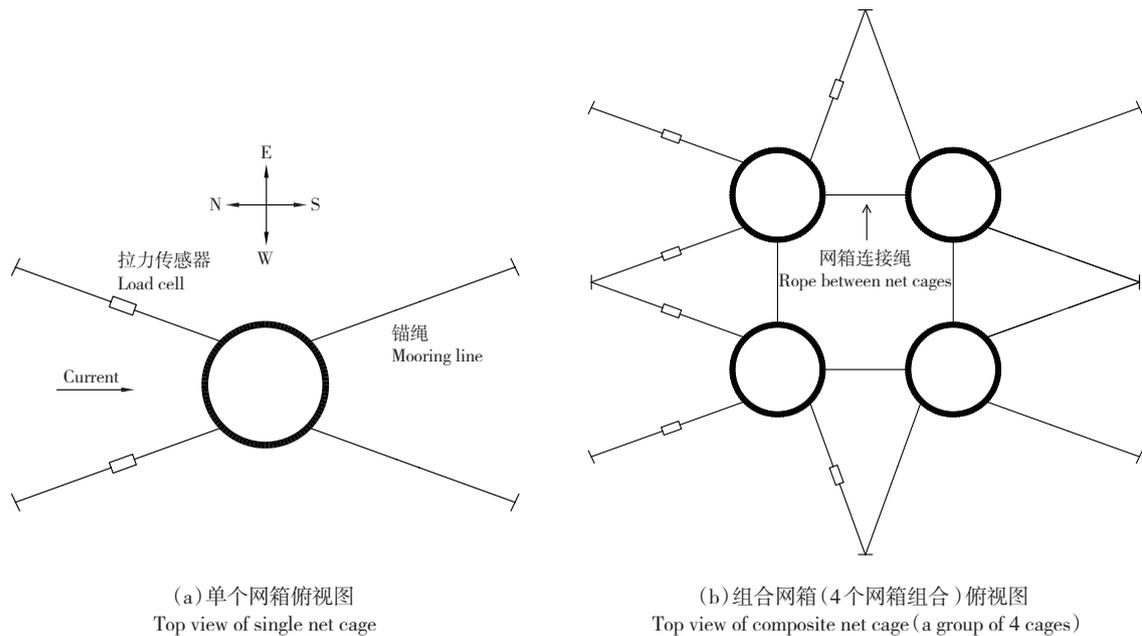


图1 网箱布置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of net cage

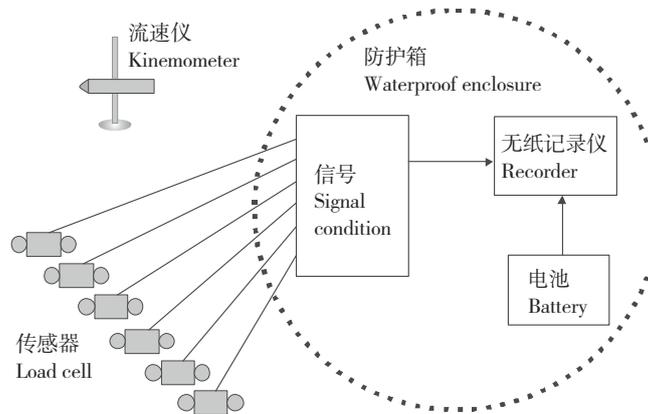


图2 测试设备和数据读取示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the transmission equipment and data acquisition

## 1.2 试验地点及水文条件

试验于2009年3月在广东湛江特呈岛深水网箱养殖基地中进行,该海域潮水为半日潮,涨潮慢历时7 h,退潮快历时5 h,退潮最大流速要大于涨潮,图1(a)中的水流方向即为退潮流速方向。网箱区在高水位时水深为16 m,低水位时为11 m。试验期间,风向为偏东风,风力2~4级,波高小于0.4 m。

## 1.3 试验方案

拉力传感器的布置见图1所示,分别用于测量单个网箱和组合网箱迎流面的锚绳受力。本次试验是针对3种不同网衣情况所开展的,分别是单个网箱和组合网箱的无网衣、小网目网衣(网目40 mm)、大网

目网衣(网目75 mm)情况,为叙述方便起见,分别采用方案NP1、NP2和NP3表示。

## 2 结果与分析

表1给出了单个网箱和组合网箱分别在3种不同网衣方案情况下的锚绳受力结果,其中锚绳力峰值是以各道锚绳中受力最大的锚绳为选择依据的,而锚绳合力是指网箱迎流面各道锚绳力峰值的叠加。从表中可以看出,网衣方案NP2的锚绳受力最大,单个网箱的锚绳力峰值和锚绳合力分别为3.73 kN和5.01 kN,组合网箱的锚绳力峰值和锚绳合力分别为5.67 kN和20.83 kN,后者的锚绳合力约为前者的4.16倍。

表1 不同网衣方案的锚绳受力结果  
Tab. 1 Values of forces on the mooring lines of cages with different net schemes

分析项目 Item	单个网箱 Single net cage			组合网箱 Composite net cage		
	NP1	NP2	NP3	NP1	NP2	NP3
锚绳力峰值/kN Peak value of mooring line forces	1.10	3.73	3.14	1.73	5.67	5.11
锚绳合力/kN Composite force of mooring lines	1.70	5.01	4.44	6.42	20.83	16.90
最大流速/(m·s <sup>-1</sup> ) Maximum velocity				0.60		

注: NP1: 无网衣; NP2: 小网目网衣(网目40 mm); NP3: 大网目网衣(网目75 mm)

Note: NP1: no net; NP2: net with mesh size of 40 mm; NP3: net with mesh size of 75 mm

图3为2种网箱的锚绳力随流速的变化曲线图,图中所指的锚绳力以及下文中所提到的锚绳力,都是以各道锚绳中受力最大的锚绳为选择依据的。从该图中可以直观地看出,3种网衣方案条件下,锚绳力基本上都随着流速的增大而增大,但无网衣方案NP1时的锚绳力随流速的变化增幅相对于其他2种有网衣的情况差别较大。以单个网箱为例,在海流速度0.6 m/s作用下, NP1时锚绳力为1.10 kN, NP2和NP3时的锚绳力分别为3.73 kN和3.14 kN,前者分别占后者的29%和35%。说明了单纯浮架的受力在整体网箱的受力中所占比重较小。

2种网箱NP2时的流速和锚绳力的历时曲线分别见图4、图5所示。可以看出,测量得到的海流速度是先增大后减小,变化周期约为5 h,这与退潮时流速的变化规律以及历时时间是一致的。另外,网

箱在海流作用下,锚绳力随时间的变化趋势与流速变化大体上是相同的,锚绳力随着流速的增大而增大,随流速的减小而减小,且流速和锚绳力所出现的最大值在时间上是相互对应的,说明了锚绳受力与流速具有一定的正比关系。

## 3 讨论

海上实测是检验数值计算和模型试验最好的方法,通过实测网箱在海洋工况作用下的锚绳力,在确保网箱锚固安全性的同时,可以优化锚泊系统和锚绳规格,减小锚绳强度过大余量所造成的浪费。但由于所需试验费用较高以及海上实测期间涉及到的不确定因素很多,使得开展海上实测试验具有一定的困难性和不可预测性,这也是目前国内未见有关锚绳力实测试验报道的主要原因。锚绳的受力是网

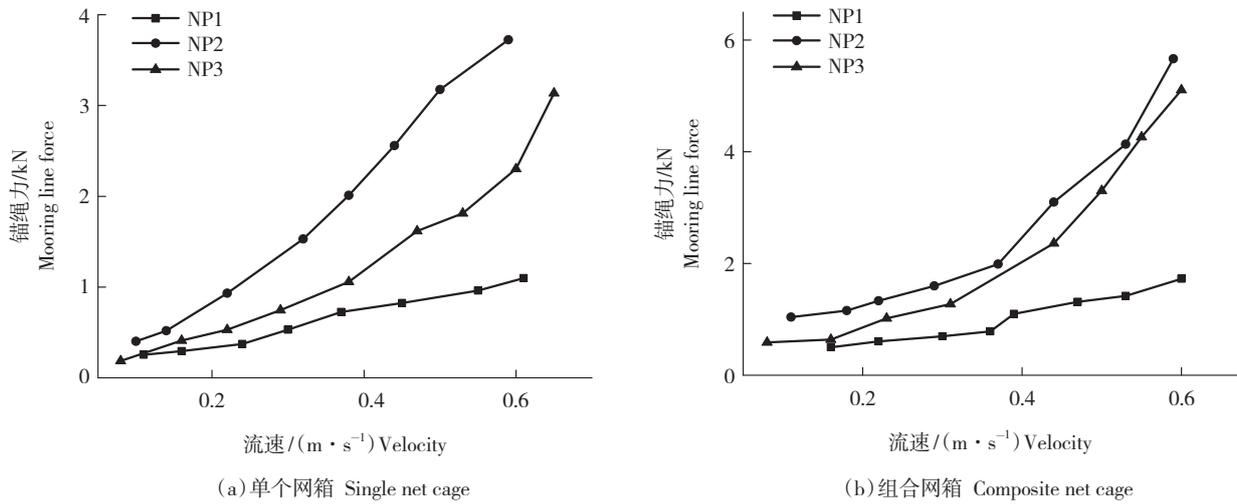


图3 锚绳力随流速变化图

NP1: 无网衣; NP2: 小网目网衣 (网目 40 mm); NP3: 大网目网衣 (网目 75 mm)

Fig. 3 Relationship between mooring line force and current velocity

NP1: no net; NP2: net with mesh size of 40 mm; NP3: net with mesh size of 75 mm

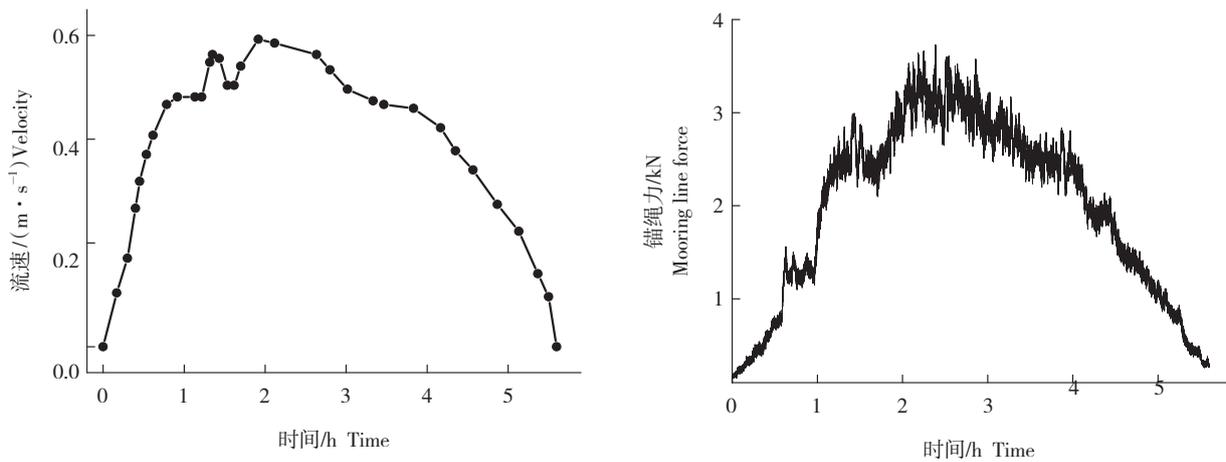


图4 单个网箱小网目网衣方案下的流速和锚绳受力随时间的变化趋势

Fig.4 Time series of current velocity and mooring line force of the single net cage with net mesh size of 40 mm

箱设计者所关注的焦点问题。目前,国内外普遍采用计算机数值模拟或实验室模型试验的方法开展网箱锚绳受力特性的研究,如郑艳娜等<sup>[2]</sup>对圆形重力式网箱2种锚碇系统(折线形与直线形)的受力进行了数值计算及相应的物理模型试验。郑国富等<sup>[7]</sup>通过小比例尺模型试验的方法,对HDPE框架圆柱形网箱在纯流、纯波及其联合作用下的缆绳张力特性进行了研究。从定性分析看,该2种方法都是开展网箱锚绳受力研究的有效方法,其不同海洋工况

下的研究结果基本上能够反映出网箱锚绳受力的变化态势。但从定量角度分析,由于研究对象的简化或模型比尺效应的影响,通过数值计算或模型试验得到的锚绳力数据的准确性不如海上实测,不能最真实的反映实际情况,还有待于海上实测数据的进一步验证。

本研究尝试采用海上实测的试验方法对HDPE圆形网箱的锚绳受力进行了测定,给出了不同网衣方案NP1(无网衣)、NP2(网目40 mm)、NP3(网目

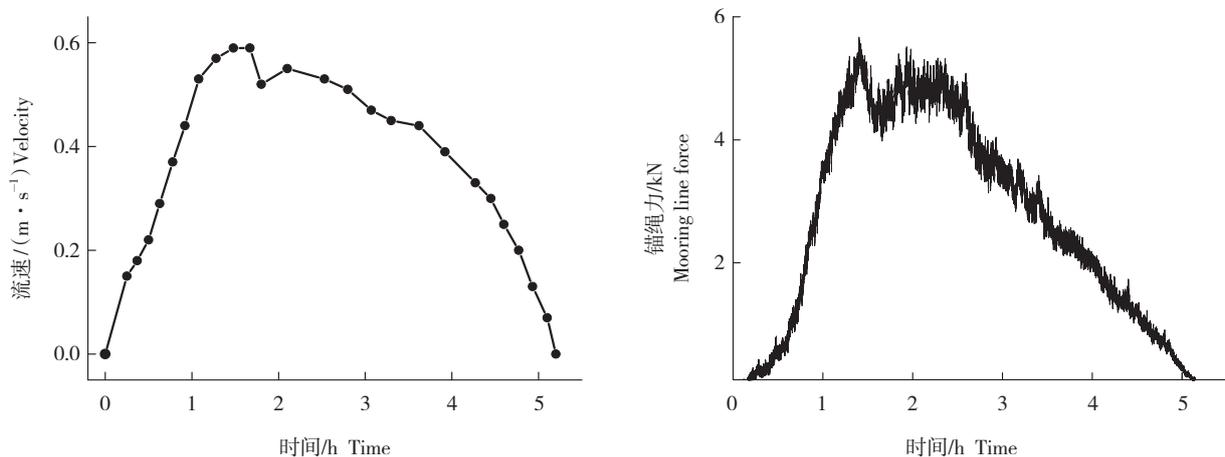


图5 组合网箱小网目网衣方案下的流速和锚绳受力随时间的变化趋势

Fig.5 Time series of current velocity and mooring line force of the composite net cage with net mesh size of 75 mm

75 mm)时的单个网箱和组合网箱在实际海流条件下的锚绳受力试验结果。结果表明,水流作用下的单纯浮架受力在整体网箱的受力中所占比重较小,而网衣受力所占比重较大,且在网箱其他参数和水文条件相同时,网目越小,整体网箱受力就越大,其原因主要是因为同等流速条件下小网目网衣所受的水流力要大于大网目网衣的情况。研究表明,网衣受力的增大会加剧网衣的运动变形,加大网箱的容积损失<sup>[13-14]</sup>。因此,在网目大小满足养殖鱼类规格的基础上,选用网目稍大的网衣可适当降低网衣的受力,减少网衣的运动变形,增大网箱有效养殖容积。

实际网箱养殖生产中,网箱布置海区的海流分布情况远比模型试验复杂,既存在网箱断面上的流速分布不均匀,有时还存在斜向流(流向与锚绳主方向成某一角度)<sup>[7]</sup>,从而使得网箱同侧两道锚绳受力差异较大。因此,在反映整体网箱在水流条件下的受力特性时,可采用网箱迎流面两道锚绳的合力来作为选择依据<sup>[15]</sup>,而在评价锚绳的安全性能时,则可以各道锚绳受力峰值中的最大值作为单锚绳的允许受力值。

本次实测试验测量了实际海流条件下的网箱锚绳受力,试验期间风浪的影响很小。为了获得极限海洋工况下网箱工程的基础数据,计划下一步开

展网箱在台风期间波浪条件下的锚绳受力现场实时测量,以便为中国深水网箱理论与工程设计以及海洋设施养殖向深海远海发展提供重要的数据参考。

#### 参考文献:

- [1] 郭根喜.我国深水网箱养殖产业化发展存在的问题与基本对策[J].南方水产,2006,2(1): 66-70.
- [2] 郑艳娜,董国海,桂福坤,等.圆形重力式网箱锚碇系统的受力研究[J].应用力学学报,2007,24(2): 180-185.
- [3] 孙满昌,张健,钱卫国.飞碟型网箱水动力模型试验与理论计算比较[J].上海水产大学学报,2003,12(4): 319-323.
- [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]. Aqu Engin, 2003 (27): 117-146.
- [5] 赵芬芳,梁振林,黄六一,等.小尺度网箱缆绳张力在波浪中的变化特性[J].中国水产科学,2004,11(增刊): 49-54.
- [6] 李玉成,桂福坤,宋芳,等.漂浮状态下重力式及碟形网箱锚绳受力特性的比较[J].水产学报,2005,29(4): 570-573.
- [7] 郑国富,黄桂芳,魏观渊,等.波浪作用下圆柱形近海抗风浪网箱缆绳的张力特性[J].水产学报,2007,31(1): 84-89.
- [8] DeCew J, Fredriksson D W, Bugrov L, et al. A case study of a modified gravity type cage and mooring system using numerical and physical models [J]. IEEE J Oce Engin, 2005, 30(1): 47-58.
- [9] Huang C C, Tang H J, Liu J Y. Dynamical analysis of net cage structures for marine aquaculture: Numerical simulation and model

- testing [J]. *Aqu Engin*, 2006, 35 (3): 258–270.
- [10] Huang C C, Tang H J, Liu J Y. Effects of waves and currents on gravity-type cages in the open sea [J]. *Aqu Engin*, 2008, 38 (2): 105–116.
- [11] Tsukrov I, Eroshkin O, Paul W, et al. Numerical modeling of nonlinear elastic components of mooring systems [J]. *IEEE J Oce Engin*, 2005, 30 (1): 37–46.
- [12] Zhao Y P, Li Y C, Dong G H, et al. A numerical study on dynamic properties of the gravity cage in combined wave-current flow [J]. *Ocean Engin*, 2007, 34 (17–18): 2350–2363.
- [13] Lader P F, Enerhaug B. Experimental investigation of forces and geometry of a net cage in uniform flow [J]. *IEEE J Oceanic Engin*, 2005, 30 (1): 79–84.
- [14] 苏炜, 詹杰民. 水流作用下渔网养殖空间变化的计算方法 [J]. *海洋工程*, 2007, 25 (1): 93–100.
- [15] 桂福坤. 深水重力式网箱水动力学特征研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2006.

## In-situ measurement on the forces of mooring lines of circular net cages with high density polyethylene

GUO Genxi, HUANG Xiaohua, HU Yu, TAO Qiyu, GU Hengguang

(South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China)

**Abstract:** Mooring system, a component of deep-water net cage, need to have adequate safety and reliability to ensure cage culture production with severe conditions such as strong winds, currents and storms in deep-water offshore area. The loading of mooring lines of net cage located in open ocean is the focus of concern to cage designers. Based on the in-situ measurement of forces on mooring lines of full-scale cages in sea current, the data of mooring line forces from three different net modes for single net cage and composite net cage (a group of 4 cages) were presented in this paper, which will provide an important reference data to deep-water net cage designing as well as mooring system optimization. The geometry shape of test net was truncated cone with upper perimeter of 39 m, lower perimeter of 29 m and height of 5.8 m. The test results from this study showed that with the increase of current velocity, the mooring line forces increased obviously and had a certain proportional relationship with current velocity; among the three different net modes (no net, net with small mesh size of 40 mm, net with large mesh size of 75 mm), the mooring line forces under the net mode with small mesh size of 40 mm was the largest. The peak value of mooring line forces and composite force of mooring lines for the single net cage were 3.73 kN and 5.01 kN, while both of them were 5.67 kN and 20.83 kN for the composite net cage; circular floating system accounted for low proportion of mooring line forces of whole net cage. According to the fact that the forces on different mooring lines on the same side of net cage in practical sea conditions have great difference, in the evaluation of the safety performance of mooring line, it was recommended that the maximum value of forces on the different mooring lines be taken as the load permission of single rope. [*Journal of Fishery Sciences of China*, 2010, 17 (4): 847–852]

**Key words:** deep-water net cage; mooring line; force; in-situ test