

文章编号: 1674 - 5566(2016)04 - 0613 - 07

DOI:10.12024/jsou.20160101648

## 近海中上层柔性浮鱼礁设计与应用

张丽珍<sup>1</sup>, 王江涛<sup>1</sup>, 胡庆松<sup>1</sup>, 申屠基康<sup>2</sup>

(1. 上海海洋大学 工程学院, 上海 201306; 2. 宁波市海洋与渔业研究院, 浙江 宁波 315010)

**摘要:** 当前我国海洋牧场建设、栖息地改造主要通过底层鱼礁进行, 从产生营养物质上升流、饵料场和产卵场及生物链的角度未充分利用整个水体空间, 导致效能不能发挥到最佳。为解决这一问题, 针对我国东海近海海域海况和生物特性研发了能与底层人工鱼礁协同工作的中上层浮鱼礁。从改善流场、自身体积保持等角度设计了四层网格柔性浮式鱼礁, 进行了浮力、重力及抗浪流能力的校核计算, 确定了锚系技术方案及水下效果监控方法。在象山港海洋牧场进行了布放, 实际效果测试表明所设计的浮鱼礁可以有效改善区域流场, 在最高潮和最低潮时均可保持竖直方向的拉伸状态, 最大潮流速度时倾斜角度不超过 20 度, 现场多批次调查及水下视频监控效果显示所研发的鱼礁能够与底层鱼礁协同工作, 投放 2 个月后有鱼类稳定地出现在浮鱼礁周围, 取得了良好的效果。

**关键词:** 中上层; 浮鱼礁; 受力校核; 锚系系统; 水下视频

**中图分类号:** S 953.1      **文献标志码:** A

海洋牧场 (Marine Ranching) 是指在一个特定的海域里, 为了有计划地培育和管理渔业资源而设置的人工渔场。它先营造一个适合海洋生物生长与繁殖的环境, 再由所吸引来的生物与人工放养的生物一起形成一个人工渔场。依靠一整套系统化的渔业设施和管理体制, 使得人们可以利用先进的科技力量, 将各种海洋生物聚集在一起, 就像赶着成群的牛羊在广阔的草原上放牧那样, 建立可以人工控制的海洋<sup>[1]</sup>。鱼礁是海洋牧场建设中的一个关键环节, 它可以改变海洋中鱼类的生存环境, 起到增殖、聚集的效果<sup>[2]</sup>。世界各沿海国家多有海洋牧场建设, 且投放了大量底层鱼礁。底层鱼礁的作用范围与其高度和体积有关<sup>[3]</sup>, 由于底层鱼礁的高度有限, 因而对鱼礁高度以上的水域的影响相对不足, 无法充分利用整个水体空间, 效能不能发挥到最佳。因为浮鱼礁的作用范围和作用机理与底层鱼礁有所不同<sup>[4]</sup>, 为了提高对水体的全面立体开发, 底层鱼礁必须与浮鱼礁配合使用, 共同投放, 协同工作。

浮鱼礁根据礁体的设置位置可分为中层浮鱼礁和表层浮鱼礁。中层浮鱼礁投置于海水之

中, 依靠礁体的剩余浮力、锚绳和锚来保持、固定其位置, 表层浮鱼礁一般置于海面上, 依靠锚绳和锚来保持、固定其位置<sup>[4]</sup>。当前, 在浮鱼礁的发展应用上, 日本处于世界领先地位, 拥有适用于大水深和全水层的浮鱼礁, 且已投入应用并取得了很好的效果, 如礁体位置为海面以下 20 m 的 AK 型中层浮鱼礁, 礁体位置为海面的 AK 型表层浮鱼礁, 本身高 90 m 应用于大水深海域的 AZ 浮鱼礁。其他国家对浮鱼礁的研究甚少, 我国对浮鱼礁的研究也较少, 仅有 80 年代与日本合作投放了悬浮式人工鱼礁, 余求妹等<sup>[5]</sup>对浮绳式网箱人工浮鱼礁的设计优势和问题进行了探讨等。日本的浮鱼礁应用的海域水深较大, 不适用于我国近海水深为 10 ~ 20 m 的海域。

为了更充分地发挥象山港海洋牧场的作用, 设计了一种与底层鱼礁协同工作的应用于 10 m 左右水深的中上层柔性浮鱼礁, 并设计了相应的锚系系统及效果监测系统。进行了实地的鱼礁投放应用试验, 观测鱼礁是否能满足投放要求, 对鱼礁的集鱼效果进行了初步观测。

收稿日期: 2016-01-28      修回日期: 2016-03-16

基金项目: 国家自然科学基金(青年)基金(51309150); 宁波市科技攻关重大专项(2013C11014); 农业部公益性行业专项(201303047)

作者简介: 张丽珍(1967—), 女, 博士, 教授, 研究方向为渔业工程装备。E-mail: lzzhang@shou.edu.cn

## 1 近海中上层柔性浮鱼礁的设计

### 1.1 鱼礁投放环境

柔性浮鱼礁的投放区域为浙江象山港海洋牧场底层鱼礁的投放区域,即图 1 中的椭圆圈内。象山港当地鱼种丰富,也是马鲛鱼 (*Scomberomorus niphonius*)、白姑鱼 (*Argyrosomus argentatus* Houttuyn)、皮氏叫姑鱼 (*Johnius belengerii*)、龙头鱼 (*Harpadon nehereus*)、长体蛇鲻 (*Saurida elongate*) 等多种洄游鱼类的产卵场或育幼场<sup>[6]</sup>。



图 1 象山港底层鱼礁投放区

Fig.1 The area of underlying artificial reefs in Xiangshan Bay

### 1.2 中上层柔性浮鱼礁整体设计

#### 1.2.1 中上层柔性浮鱼礁礁体的设计

在生物方面,浮鱼礁要能够发挥聚集、增殖

作用,需要能够为水生生物提供阴影,在鱼礁周围形成较适宜鱼类生存的复杂水流环境,为鱼类提供产卵场所,形成鱼类的索饵区<sup>[7]</sup>,应具有复杂多变的空间为鱼类提供躲避区<sup>[8-11]</sup>。在适应投放环境方面,浮鱼礁应具有较好的抗波流能力,象山港海洋牧场海区的水深只有十几米,潮差可以达到 5 m,潮流速度较大<sup>[12]</sup>,稳定的水深不超过 10 m,海底又有底层鱼礁,因此不适合中层浮鱼礁的布置,而浮在水面上的浮鱼礁体积大作用有限,因此设计了可以布置在水面以下几米范围内具有较好抗流能力的中上层柔性浮鱼礁。

设计的中上层柔性浮鱼礁的整体结构如图 2 所示,图 2a 为浮鱼礁的整体结构,由鱼礁主体、锚绳、锚和浮球组成,图 2b 为鱼礁主体,由 4 个骨架、网衣和连接锚绳组成,每个骨架单元由一个圆形框架和一个十字型架构成,圆形框架用公称直径为 32 mm 的 PE (聚氯乙烯, Polyethylene) 水管围成,直径为 2 500 mm,加热 PE 水管的两头各 50 ~ 70 mm 长度后,插入一根直径较小的长 140 mm 的 PPR (无规共聚聚丙烯, Polypropylene random) 水管,冷却后 PE 管的两端连在一起。在结合处打通孔,用尼龙绳穿过通孔固定以防止接管脱落。上端三个十字型架用长度为 2 700 mm、直径为 50 ~ 100 mm 的毛竹制成,最下端十字型架用长度为 2 700 mm、直径为 32 mm 的钢管制成。将十字型架固定于圆形框架上,组成了骨架单元。

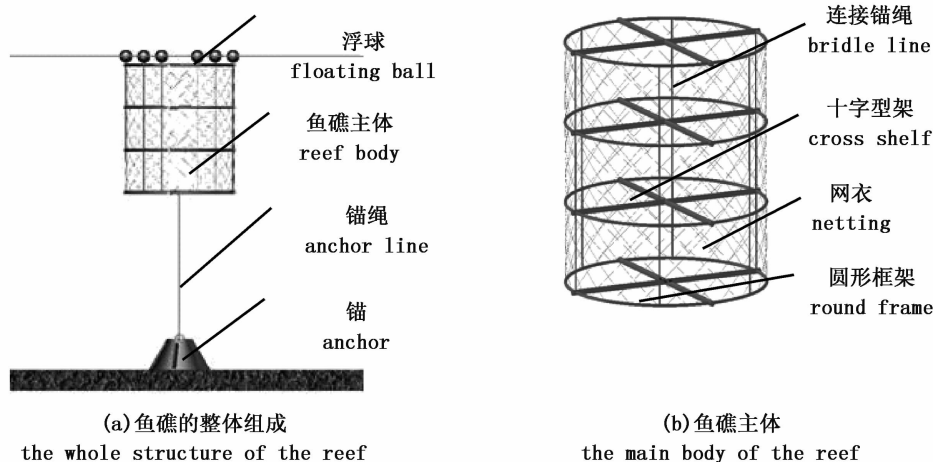


图 2 中上层柔性浮鱼礁的结构

Fig.2 The structure of upper-middle-class flexible floating reef

用 6 根直径为 15 mm 的连接锚绳将 4 个骨架单元等间隔捆绑串联起来,形成总长 3 000 mm 的柔性圆柱体。六根连接锚绳均匀分布到框架外圆上。最外层用网目为 500 mm 的尼龙绳网进行包裹,并用细尼龙线把网缝到圆形 PE 管上,尼龙绳网用直径为 5 mm 的尼龙绳织成。

毛竹具有较强的生物亲和力,易于藻类等水生生物的附着生长,形成饵料场。尼龙绳网衣和连接锚绳具有较小外径可以作为一些水生生物的产卵场,又将鱼礁形成一个相对独立的空间。每个骨架单元中,PE 水管有较好弹性可以提供缓冲变形空间,减缓浪流冲击力。十字型架可以保持柔性鱼礁礁体基本形状,并将鱼礁内部空间分割形成多个空间,增加阴影和生物附着空间。

### 1.2.2 重力和浮力的设计

象山港海区潮差大约为 5 m,鱼礁投放区海图水深为 7~14 m。潮差大、深度浅,当落潮水深变浅时,锚绳松弛对礁体没有足够的拉力使其处于拉伸状态,这时就要求柔性浮鱼礁礁体自身能够保证始终处于拉伸状态,因此,柔性浮鱼礁礁体下层部分应该具有足够的重力使鱼礁整体处于拉伸状态,礁体整体受到足够浮力使其浮在水中。

由于制作柔性浮鱼礁礁体的 PE 管材、尼龙绳、毛竹的密度都比海水小,因此需要在鱼礁底层增加重力,且要求当从水面开始数,第四层鱼礁骨架单元重力大于自身受到的浮力,最下两层鱼礁骨架总重力大于其总浮力,最下三层总重力大于其总浮力。

用毛竹做的十字型架鱼礁骨架单元重力为 64.6 N,受到浮力为 167 N。要使礁体整体都呈现拉伸状态,就需要在下三层鱼礁骨架上至少增加 307.2 N 重力,因此将最下一层十字型架的材料由毛竹换为钢管,其重力为 192 N,并在最下层两个鱼礁骨架中圆形框架里灌满细沙,各增加沙重 40 N。在灌沙时应灌满防止出现骨架各处重力不平衡。经计算最下层骨架重力为 253.4 N,浮力为 64.5 N,第二层骨架重力 104.6 N,浮力为 167 N。此时最下层鱼礁骨架重力大于浮力,因此最下四层骨架与第三层骨架之间网衣及连接锚绳处于拉伸状态。下两层骨架重力大于总浮力,第三层和第二层骨架之间的网衣和连接锚绳也处于拉伸状态。下面三个骨架总重力为 422.6

N,受到总浮力为 398.6 N,所以第二层和第一层骨架之间的网衣和连接锚绳也处于拉伸状态。柔性浮鱼礁在竖直方向可以处于拉伸状态(如图 2. b 所示状态)。经计算鱼礁主体潜入海水时总排水量为 565.6 N,总重力为 487.2 N,最大浮力大于总重力,鱼礁主体本身可以浮于海面。

当鱼礁上附着有生物时重力会变大,此处取增加生物附着重量 100 N,因此需要增加一定浮力来保证鱼礁不会沉入海底。为此,在最上层圆形框架上用粗尼龙绳穿 10 个直径为 90 mm 浮球和 7 个直径为 150 mm 浮球,将浮球均匀分布并用尼龙绳以缝网纲的方法缝到上层圆框上,这些浮球最大可增加约 160 N 排水量。

### 1.3 锚定方案确定

象山港潮流速度较大,受到流体阻力较大。若采用多锚绳固定会产生偏向力,使鱼礁外形发生变形,且鱼礁自身不能保持竖直,故采用单锚绳固定方法。要保证鱼礁在高平潮时不会没入水面以下或不会过大,在低平潮时飘动的距离不致过大,选锚绳的长度为投放处水深 10 m。

锚块大小需要根据柔性浮鱼礁受到的力来确定。中上层柔性浮鱼礁所受到力除了自重外,还有礁体部分及锚绳上受到水流力、浮力、生物附着在礁体上的重力和风力等。

#### (1) 礁体部分受到的水流作用力

礁体所受的水流作用力计算公式如下<sup>[13]</sup>:

$$F_w = \frac{\gamma_0}{2g} C_D A_w V_m^2 \quad (1)$$

式中: $F_w$  为礁体部分受到的水流阻力(kN), $\gamma_0$  为海水重力密度,为 10 250 N/m<sup>3</sup>, $C_D$  为礁体阻力系数,为 1, $A_w$  为礁体水平投影面积,根据礁体的形状尺寸计算得面积为 1.28 m<sup>2</sup>, $V_m$  为最大流速,取 1.83 m/s,把这些已知值代入式(1)计算得到礁体部分受到水流作用力为 2.196 kN。

#### (2) 锚链受到的水流阻力

锚链所受水流作用力计算公式为:

$$F_k = \frac{1}{2} \frac{\gamma_0}{g} C_D A_k V_m^2 \quad (2)$$

式中: $F_k$  为锚链所受到水流阻力, $A_k$  为锚链水平投影面积,为 0.161 m<sup>2</sup>,在式(2)中代入已知值计算得锚链受到水流阻力为 0.274 kN。

#### (3) 最大浮力

鱼礁受到最大浮力为:

$$F_L = \gamma_0 V_w \quad (3)$$

式中:  $F_L$  为鱼礁受到最大浮力(kN),  $V_w$  为鱼礁整体最大海水排水量, 为  $0.085 \text{ m}^3$ , 在公式(3)中代入已知值计算得鱼礁受到最大浮力为  $0.870 \text{ kN}$ 。

#### (4) 生物附着增加的载荷

礁体部分及锚定系统在海面以下  $60 \text{ m}$  范围内表面会有生物附着, 附着生物增加后礁体的重量、体积、投影面积会有所增大。一般取附着重量为  $80 \text{ N/m}^2$  (水中), 浮鱼礁总附着重量为  $G_p = 0.1024 \text{ kN}$ 。

#### (5) 风载荷

风载荷大小为:

$$F_A = \frac{U_{10}^2}{2g} r_a C_D A_a \quad (4)$$

式中:  $F_A$  为风阻力(kN),  $U_{10}$  为海风速度(10 min 内风速平均值, m/s), 取当地最大风速为  $25 \text{ m/s}$ ,  $\gamma_a$  为空气重量密度, 为  $12.3 \text{ N/m}^3$ ,  $C_D$  为表面部分的阻力系数, 取  $1$ ,  $A_a$  为浮球在海平面以上部分水平投影面积, 为  $0.187 \text{ m}^2$ , 把已知值代入式(4)计算得到风载荷为  $0.072 \text{ kN}$ 。

要保证礁体在水流冲击下不发生移动, 即锚不滑动, 就要求锚块与海底接触面间的最大静摩擦力  $F_s$  大于鱼礁受到水平作用力的最大合力  $F_h$ , 即

$$F_s \geq F_h \quad (5)$$

鱼礁所受水平力有礁体和锚链的水流阻力和风载荷, 即水平最大合力为:

$$F_h = F_w + F_k + F_A \quad (6)$$

将以上计算得到的已知数值代入式(6), 得水平最大合力为  $2.542 \text{ kN}$ 。鱼礁锚块与海底的最大静摩擦力为:

$$F_s = \mu(G_A + G_r + G_p - F_L) \quad (7)$$

式中:  $\mu$  为锚体与海底接触面间静摩擦系数, 一般取  $0.6$  [14],  $G_A$  为锚块重力(kN),  $G_r$  为鱼礁总重力, 为  $0.6336 \text{ kN}$ 。

根据公式(5), 经计算锚块重力至少应为  $4.370 \text{ kN}$ 。取安全系数为  $1.5$ , 则锚块重力为  $6.555 \text{ kN}$ , 质量为  $655.5 \text{ kg}$ 。

## 2 中上层柔性浮鱼礁投放应用试验

### 2.1 水下观测系统设计

为了观察中上层柔性浮鱼礁对鱼类的聚集

作用, 设计了一种远程监控系统, 以实时观测柔性浮鱼礁周围生物活动情况。采用点对点无线网络桥接方式将水下摄像头和实验平台上终端连接起来, 实现水下摄像头拍摄的视频数据向终端发送和终端对摄像头控制。

采用总载重为  $70 \text{ kg}$  三角浮球作为载体, 搭载水下摄像头、发射无线网桥以及移动太阳能供电系统, 形成海上观察平台, 如图3所示。水下摄像头采用 SIP1201Plus 3.6 mm 720 P 高清无线摄像头, 外加防水罩壳, 它具有  $360$  度可转动的云台以调节拍摄方向。将摄像头原无线发射信号改为有线输出, 并接到无线网桥发射端, 采用  $8 \text{ dBi}$  全向天线向外发射无线视频信号。在试验平台上, 采用  $17 \text{ dBi}$  栅格式天线接受无线视频信号, 如图4所示, 然后通过接收端网桥传入终端电脑, 图5为无线通信系统工作原理。

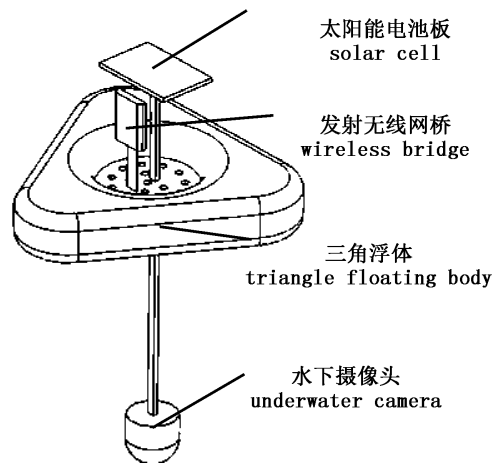


图3 观测平台三维图

Fig. 3 3D figure of observation platform on the sea



图4 视频接收天线

Fig. 4 Video receiving antenna

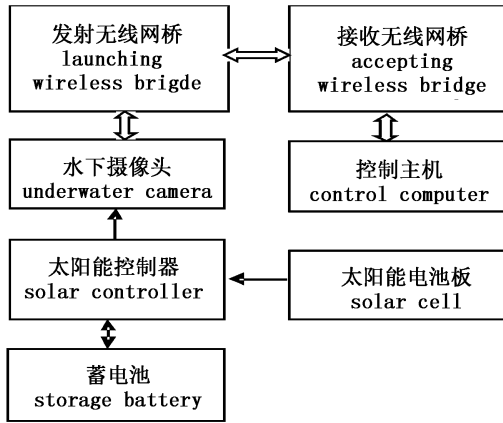


图 5 通信系统原理图  
Fig. 5 The principle diagram of the communication system

2.2 中上层柔性浮鱼礁形态和位置稳定性

一共制作了 3 个相同的柔性浮鱼礁,进行投放试验。提前选好 3 个水深均不超过 10 m<sup>[15]</sup> 的投放位置,并用 GPS (全球定位系统, global positioning system) 进行定位记录,3 处投放位置的水深分别为 10 m、9.5 m 和 9 m,分别投放一

号、二号、三号鱼礁。投放应在低平潮时进行,使船尽量平稳地停在投放位置,先将鱼礁投到海中,等其依靠自身的重力和受到的浮力展开后,再将锚投到海中。

投放后,观察鱼礁在一个涨落潮周期内的形态,并采用 ValeportModel106 旋桨式水流仪实测潮流速度。通过在一个涨落潮周期内,对中上层柔性浮鱼礁观察发现,鱼礁在外形上始终保持上下拉紧状态,迎流面有少许的内凹,背流面有少许外凸,但基本保持原有的尺寸。在静水和潮流较小时,鱼礁在水中呈直立的姿态(图 6a);潮流逐渐增大时,鱼礁体会有整体倾斜且角度逐渐变大,如图 6b 所示,当天的最大水流 1.2 m/s 时,倾斜角度约为 20 度,但仍保持外形和位置的稳定。

为了检查鱼礁位置变化情况以及锚系固定中上层柔性浮鱼礁的能力,使用 GARMINetrex 20 手持 GPS 户外导航经纬度定位仪定位了鱼礁投放时和投放 60 d 后经纬度变化,所测数据见表 1。对比后发现鱼礁没有发生移位,表明所设计的鱼礁锚系具有较好的安全性。



(a) 静水中姿态  
the reef status in stillwater



(b) 流速为 1.2 m/s 的姿态  
the reef status in current of 1.2 m/s

图 6 浮鱼礁在海水中的姿态

Fig. 6 The status of the floating reefs in the sea

表 1 鱼礁位置坐标对比表  
Tab. 1 Reefs coordinates table

项目 item	一号鱼礁 No. 1	二号鱼礁 No. 2	三号鱼礁 No. 3
投放坐标 the coordinate at first	29°30'19.1"N 121°35'18.3"E	29°30'20.7"N 121°35'19.1"E	29°30'21.0"N 121°35'17.6"E
60 d 后坐标 the coordinate after 60 days	29°30'19.3"N 121°35'18.5"E	29°30'21.0"N 121°35'19.4"E	29°30'21.3"N 121°35'17.9"E

2.3 集鱼效果

通过两个月对鱼礁集鱼效果的连续观察,发现鱼礁周围逐渐有鱼类聚集。刚开始偶尔有鱼

类经过,到最后有一定数量的鱼类在鱼礁周围游弋。图 7 为投放 60 d 后在鱼礁外围拍摄到的鱼类聚集情况,图中椭圆圈内为鱼。

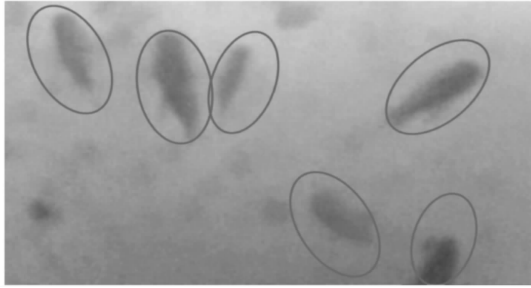


图7 聚鱼效果

Fig.7 The Effect of gathering fish

### 3 结论

(1) 根据当地海况和生物资源条件设计出了可以改善水流和保持自身体积的四层网格柔性鱼礁, 礁体高 3 m, 直径 2.5 m, 采用毛竹加 PVC 管作为鱼礁框架保持其基本形状, 在轴向采用绳索连接, 在框架外层包覆了一层网目为 500 mm 的尼龙绳网, 这样礁体具有较好的柔性, 水阻小, 体积大, 空间相对多变。

(2) 通过对近海中上层柔性浮鱼礁的投放试验, 实际效果测试表明所设计的中上层柔性浮鱼礁礁体可以稳定地停留在从海面到海面以下 3 m 的水域, 在不同海况下能够保持基本形状不变, 最高潮和最低潮时均可保持轴向拉伸状态, 不受锚绳受力情况影响, 最大潮流速度时倾斜角度不超过 20 度, 径向尺寸基本不变, 有效改善区域流场。浮鱼礁投放 60 d 后锚块的位置没有变化, 说明鱼礁的锚定系统是安全的。

(3) 通过远程观察系统对浮鱼礁水域 60 d 持续观测, 发现柔性浮鱼礁在象山港海洋牧场底层鱼礁投放区具有较好的聚鱼能力, 且能够与底层鱼礁协同作用, 较快地吸引鱼类, 扩大了鱼群的活动空间。鱼礁的长期聚鱼效果以及对不同鱼种的聚集作用还需要进行长期观察, 并在条件允许时进行大批量投放观察其规模效应。

中上层柔性浮鱼礁与底层鱼礁协同工作, 能提高对海洋综合利用, 对海洋牧场发展具有重要意义, 所研发的中上层柔性浮鱼礁在柔性鱼礁的形状保持、受力分析、效果观察方法等方面做出了良好的探索, 对促进海洋牧场的发展具有重要价值。

### 参考文献:

- [1] 陈力群, 张朝晖, 王宗灵. 海洋渔业资源可持续利用的一种模式-海洋牧场[J]. 海岸工程, 2006, 25(4): 71-76.  
CHEN L Q, ZHANG C H, WANG Z L. A model for marine fishery resources sustainable utilization-marine ranching[J]. Coastal Engineering, 2006, 25(4): 71-76.
- [2] 林军, 章守宇. 人工鱼礁物理稳定性及其生态效应的研究进展[J]. 海洋渔业, 2006, 28(3): 257-262.  
LIN J, ZHANG S Y. Research advances on physical stability and ecological effects of artificial reef[J]. Marine Fisheries, 2006, 28(3): 257-262.
- [3] 陈帅, 陆彦, 黄廷杰, 等. 人工鱼礁水动力学机理试验研究[J]. 人民黄河, 2014, 36(5): 34-37.  
CHEN S, LU Y, HUANG T J, et al. Experimental research on hydraulic mechanism of artificial reefs[J]. Yellow River, 2014, 36(5): 34-37.
- [4] 刘惠飞. 日本人工鱼礁研究开发的最新动向[J]. 渔业现代化, 2002, (1): 25-27.  
LIU H F. The new trend of the research and development of artificial reefs in Japan[J]. Fishery Modernization, 2002, (1): 25-27.
- [5] 余求妹, 马家志, 安玉, 等. 浮绳式网箱人工浮鱼礁的设计优势及问题的探讨[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(19): 8194-8195, 8217.  
YU Q M, MA J Z, AN Y, et al. The preliminary study of design advantages and problems on artificial floating fish reef of floating rope cage[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2013, 41(19): 8194-8195, 8217.
- [6] 姜亚洲, 林楠, 袁兴伟, 等. 象山港游泳动物群落结构及多样性[J]. 生态学杂志, 2013, 32(4): 920-926.  
JIANG Y Z, LIN N, YUAN X W, et al. Community structure and species diversity of nektons in Xiangshan Bay of East China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32(4): 920-926.
- [7] 杨柳, 张硕, 孙满昌, 等. 海州湾人工鱼礁区浮游植物与环境因子关系的研究[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(3): 445-450.  
YANG L, ZHANG S, SUN M C, et al. The research of relationships between phytoplankton and environmental factors in artificial reef area of Haizhou Bay[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2011, 20(3): 445-450.
- [8] 周艳波, 蔡文贵, 陈海刚, 等. 人工鱼礁生态诱集技术的机理及研究进展[J]. 海洋渔业, 2010, 32(2): 225-230.  
ZHOU Y B, CAI W G, CHEN H G, et al. The mechanism and research progress on fish attraction technique for artificial reefs[J]. Marine Fisheries, 2010, 32(2): 225-230.
- [9] SHERMAN R L, GILLIAM D S, SPIELER R E. Artificial reef design: void space, complexity, and attractants[J]. ICES Journal of Marine Science, 2002, 59(S): S196-

- S200.
- [10] 林承刚, 汝少国, 杨红生, 等. 刺参对人工礁体设计关键指标的选择性[J]. 海洋科学, 2012, 36(3): 13-21.  
LIN C G, RU S G, YANG H S, et al. Selectivity of sea cucumber (*Apostichopus japonicus*, Selenka) for key indicators in artificial reef structure design [J]. Marine Sciences, 2012, 36(3): 13-21.
- [11] GATTS P, FRANCO M, SANTOS L, et al. Impact of artificial patchy reef design on the ichthyofauna community of seasonally influenced shores at Southeastern Brazil [J]. Aquatic Ecology, 2015, 49(3): 343-355.
- [12] 范红霞, 王建中, 朱立俊. 象山县西沪港海洋生态环境修复工程物理模型试验研究[J]. 海洋开发与管理, 2015, 32(3): 86-90.  
FAN H X, WANG J Z, ZHU L J. Physical model experimental study of Marine ecological environment restoration in Xihu port of Xiangshan county [J]. Ocean Development and Management, 2015, 32(3): 86-90.
- [13] 夏泰淳. 工程流体力学学习题解析[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2006: 233-236.
- XIA T C. Exercises analyses of engineering fluid mechanics [M]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University Press, 2006: 233-236.
- [14] 刘健, 张硕, 许柳雄, 等. 人工鱼礁礁体与不同粒径底质间最大静摩擦系数的试验研究[J]. 海洋科学, 2012, 36(1): 59-64.  
LIU J, ZHANG S, XU L X, et al. Analysis of the maximum static friction coefficient of artificial reefs in different diameter of sediment [J]. Marine Sciences, 2012, 36(1): 59-64.
- [15] 林军, 章守宇, 龚甫贤. 象山港海洋牧场规划区选址评估的数值模拟研究: 水动力条件和颗粒物滞留时间[J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(3): 452-459.  
LIN J, ZHANG S Y, GONG P X. Numerical study on site selection evaluation of the marine ranching planning zone in Xiangshan Bay: hydrodynamic conditions and particle residence time [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2012, 21(3): 452-459.

## Design and application of offshore middle-upper-layer flexible floating reefs

ZHANG Lizhen<sup>1</sup>, WANG Jiangtao<sup>1</sup>, HU Qingsong<sup>1</sup>, SHENTU Jikang<sup>2</sup>

(1. College of Engineering Science & Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Research Institute of Marine and Fishery, Ningbo 315010, Zhejiang, China)

**Abstract:** Currently, the main way to construct marine ranching and reform habitat is to build up underlying reefs, however the whole ocean water space can't be fully used in these aspects, such as generating upwelling of nutrient substance, bait field, spawning ground and biological chain, which do not maximize its efficiency. To solve this problem, based on sea conditions and biological characteristics in offshore waters in the East China Sea, a kind of upper-middle-class floating reef is developed that can cooperate with bottom reefs. Proceed from improving flow field and keeping volume unchanged, the flexible floating reef with four layers frame was designed, then its buoyancy force, gravity and capability of resisting waves were calibrated and calculated. The technical scheme of anchor system and the method of monitoring its applying effect underwater were determined. Three reefs were placed in marine ranching of Xiangshan Bay to test their practical effect. The test results show that the designed reef can effectively improve the regional flow field. It can keep tensile state in axial and has a tilt less than 20 degree in strong tidal current. The data from several investigations and video monitoring system show that the upper-middle-class flexible floating reefs can cooperate with the bottom reefs. Some fish appeared stably around after the floating reefs were placed for 2 months. The effect is satisfactory.

**Key words:** middle-upper-layer; floating reefs; force checking; anchor system; underwater video