

# 国产 HDPE 升降式深水网箱下沉关键技术的研究

黄滨 关长涛 崔勇 李娇

(农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

**摘要** 通过大量的海上网箱沉浮试验和分析, 阐述了国产 HDPE 升降式网箱在自然海洋环境状态中, 受风、浪和流等客观因素的作用与影响, 使其在下沉过程中各浮管舱间下沉速度不一致, 导致升降式网箱最终不能完全沉入水下, 形成外在成因; 而浮管舱内进水水体的流动则是造成网箱重心偏移和整体倾斜的内在因素, 控制网箱下沉倾角, 清除排气管路进水阻塞是升降网箱下沉的关键技术。

**关键词** HDPE 升降式 深水网箱 下沉 关键技术

**中图分类号** S969 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2009)05-0102-06

## Study on key techniques for submergence of HDPE submersible deep-sea cage

HUANG Bin GUAN Chang-tao CUI Yong LI Jiao

(Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fishery Resources, Ministry of Agriculture;  
Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qindao 266071)

**ABSTRACT** The interaction between HDPE submersible deep-sea cage and wave-current was analyzed by a number of in situ tests for cage submergence. The submersible cage could not sink completely because the sinking speed of the pipe cabins was different. And another important reason was the cage barycenter drift due to the water flow in the pipe cabins. The key technology of net cage sinking is controlling the sinking obliquity and eliminating block of the exhaust pipeline.

**KEY WORDS** HDPE Submersible Deep-sea cage Submergence  
Key technique

国产 HDPE 圆形升降式深水网箱的关键技术之一, 就是网箱下沉控制系统的研究。目前, 我国拥有大型 HDPE 升降式深水抗风浪网箱约有几百只, 但真正在强台风来临前沉入水下躲避台风危害的成功实例还不多见, 甚至未有成功的报道, 因此其沉降后抗风浪的效果如何, 还未得到实践考证, 多数国产升降式网箱基本当作全浮式养殖网箱使用。究其原因, 主要还是国产升降式网箱在下沉技术环节方面尚不成熟, 存在着网箱在自然放气下沉过程中, 受自然海洋环境中风、浪和流等因素的影响, 网箱整体受力不均匀, 造成网箱最终不能完全沉入水下、倾斜乃至侧翻等技术难点问题; 另外, 现有升降式网箱下沉控制系统中, 阀门管路较多, 操作繁琐, 跑漏气等隐患, 使网箱突然沉入或倾覆于水中而导致严重损失。因此, 进一步研究与完善升降式网箱的下沉控制技

国家 863 计划项目(2006AA100301)、(2006AA100302)和国家科技支撑计划项目(2006BAD09A13)共同资助

收稿日期: 2008-10-23; 接受日期: 2009-06-09

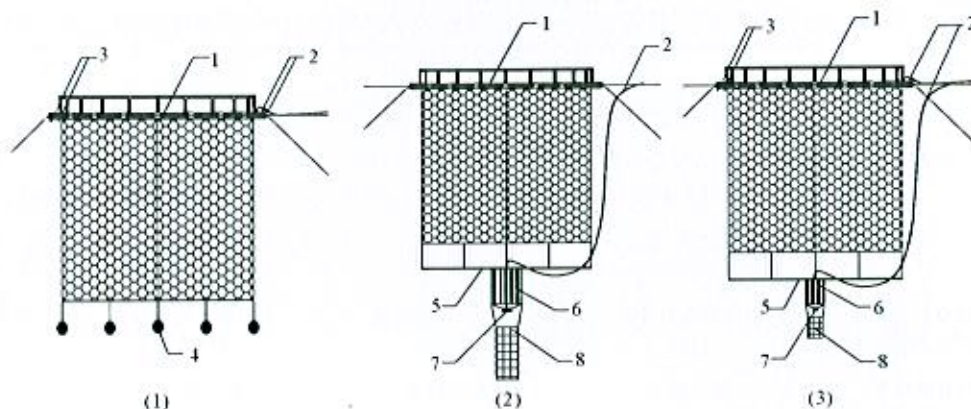
作者简介: 黄滨 (1952-), 男, 副研究员, 主要从事设施渔业研究。E-mail: huangbin@ysfri.ac.cn

术,是推动我国升降式网箱快速发展的关键。

## 1 国内外升降式网箱发展现状及技术分析

我国现有升降式深水网箱的关键技术基本上是在引进、吸收和改良国外先进技术的基础上,又结合我国的国情创建形成的。目前国外技术比较成熟的升降式深水网箱有:挪威的 HDPE 圆形升降式深水网箱、美国和俄罗斯的钢结构碟形和六棱柱锥台型升降网箱和日本的方形钢结构升降式网箱等,其中在我国应用比较广泛的当属 HDPE 圆形升降式深水网箱。

国产 HDPE 圆形升降式深水网箱从结构形式上分基本有 3 种形式(图 1)。



1: HDPE 网箱主框架 Cage main frame, 2: 排气阀门及高强度软管 Drain tap and high strength tube, 3: 浮管舱进水管口 Float pipe cabin nozzle, 4: 网底配重 Weight, 5: 网底钢结构支撑框架 Bottom steel frame, 6: 水下可控主浮筒 Controlled buoy in water, 7: 主浮筒进水口 Nozzle of main buoy, 8: 钢制沉石筐 Steel rock basket

图 1 国产 HDPE 升降式网箱的 3 种基本结构形式

Fig. 1 The three frame charts of HDPE submersible deep-sea cage

第 1 种是利用网箱 HDPE 框架主浮管的进水或充气来改变网箱自身浮力与沉力的关系,最终使网箱沉浮于水中的;这种升降式网箱按入水方式又可分为主框架倾角入水和平稳入水(郭建平等 2003)两种沉浮方式。

第 2 种是在 HDPE 双浮管全浮式网箱的网衣底部加设 1 个钢结构支撑框架和 1 组由主控制浮筒和连接吊拉沉子组成的浮力调节装置,利用控制水下主浮筒的进水或充气,调减网箱的整体浮力,最终总沉力大于网箱的总浮力,使水下部分的集中沉力将网箱整体牵拉入水下的平衡升降式网箱(关长涛等 2005)。

第 3 种是以上两种形式的结合,它的不同之处是第 1 种结构形式中平衡入水方式的网箱,主框架的分隔舱中 1/2 是密封舱,1/2 是进水舱;它先控制上部双浮管中的进水隔舱排气进水,再控制水下浮筒的排气进水减小浮力,这样既利用了平衡入水方式的优点,又减少了水下主浮筒的容积和配重,提高了沉水的成功率。

统计发现,我国现有使用较广泛的大型 HDPE 双浮管升降深水网箱中,又以第 1 种结构形式的网箱为最多,它与其他两种 HDPE 升降式网箱的不同之处见表 1。

## 2 海上试验

### 2.1 材料与方法

#### 2.1.1 地点及条件(黄滨等 2008)

2005 年 10 月在山东荣成寻山渔业集团公司深水抗风浪网箱试验基地,试验水深 25 m 左右,气温 18~20℃,风力 3~4 级。

表1 国内HDPE升降式网箱的结构形式及技术分析  
Table 1 Analysis of configuration for HDPE submersible deep-sea cage

序号 Number	项目 Item	第1种结构形式 The first configuration		第2种结构形式 The second configuration	第3种结构形式 The third configuration
		(1)分4舱以下 Less than four cabins	(2)分8舱以上 More than eight cabins		
1	结构特点 Structure characteristic	主浮管对称分舱 Main float pipe symmetry cabin	主浮管均布分舱 Main float pipe even distribution cabin	网底钢框架带控制浮筒和沉石钢筐 Frame control buoy and sink	第一(2)、二种结构形式结合 Combination of the first second configurations
2	下沉方式 Sinking mode	倾角下沉 Oblique sinking	平衡下沉 Balanced sinking	平衡下沉 Balanced sinking	平衡下沉 Balanced sinking
3	控制难易程度 Control difficulty	需近距离手动控制下沉 Manual-controlled sinking	需近距离手动控制下沉 Manual-controlled sinking	可远程遥控沉浮 Remote controllable	可远程遥控沉浮 Remote controllable
4	配重 Sink	相对较小 Relatively less	相对较小 Relatively less	比较大 Relatively more	相对较大 Relatively more
5	换网 Change net	可以换网 Net changeable	可以换网 Net changeable	无法换网 Net unchangeable	无法换网 Net unchangeable
6	水下部分受流影响 Influence of current	相对较小 Relatively less	相对较小 Relatively less	比较大 Relatively more	相对较大 Relatively more
7	维修难易程度 Difficulty for maintenance	较易检查和维修 Easy	较易检查和维修 Easy	不易检查和维修 Hard	不易检查和维修 Hard
8	阀门管路隐患 Valve trouble	相对较少 Relatively less	相对较多 Relatively more	相对较少 Relatively less	相对较多 Relatively more
9	下沉成功率 Sinking success	低(非手动控制) Low	低(非手动控制) Low	100 %	100 %
10	网箱应用数量 Number of cages in use	较多 More	一般 Normal	较少 Little	较少 Little

### 2.1.2 材料和设备

选用并制作了两种不同结构形式周长 50 m 的 HDPE 升降式网箱,配套相关的试验设备和辅助试验船,其中一个升降式网箱是采用第 1 种结构形式中主浮管对称分舱结构,倾角入水方式的升降式网箱;另一个是采用第 2 种网底钢框架带控制浮筒和沉石钢筐结构,平衡入水方式的 HDPE 升降式网箱。将试验网箱分别锚泊在养殖基地的水下控制平台上(郭根喜等 2005)。

### 2.1.3 试验网箱的结构原理(黄滨等 2008)

第 1 种网箱结构形式中,倾角入水网箱的结构原理是将网箱框架的 HDPE 双浮管用隔舱管件以圆形网箱直径为对称轴对称分舱,一般将内圈管和外圈管各分两个舱,内外圈同侧管舱用高强度软管、三通管件并联成一路;形成左右对称两侧各有一路充排气管的控制方式,并将其浮于水面之上用于操纵;利用 HDPE 管的柔韧性和在下沉过程中的产生一定的倾斜度,控制浮管腔内的空气在高端排气,低端进水,来改变网箱的整体浮力和重力的关系,实现网箱下沉。其中对称分舱的目的主要是使倾斜下沉时位于框架最高端的两侧排气口最后同时沉入水下,否则其中一侧可能因出气管路进水被阻塞管腔内剩余气体不能排出,网箱无法完全沉入水中。

第 2 种结构原理采用类似降落伞的平衡原理,在网箱主浮管不进水的条件下,使网箱上框架的总浮力与网箱底部的总沉力重心居于同一中心轴上,且具有自身调节平衡状态能力,当网箱底部浮筒的浮力小于网箱总沉力时,将网箱整体水平牵拉入水下。

### 2.1.4 试验方法和调控措施

对两种不同结构形式的升降式网箱分别作下沉与上浮的循环周期试验,并重复沉浮 3 个周期以上。对于试验中出现的不能完全沉入水下的现象,改变排气管路自然排气方法,采取人工观察配合手动控制出气阀门的

措施。

### 2.1.5 网箱的沉降与升浮过程(黄滨等 2008)

第1种结构形式(1)的网箱(黄滨等 2008):在下沉试验时,同时开启位于网箱HDPE框架对称轴一端的两路排气管排气阀门,框架另一端的HDPE管下的进水口开始自然进水,重力作用下,使网箱进水口附近的HDPE主浮管开始弯曲下沉,10 min左右,网箱主框架约2/3弯入水下,随后网箱主框架开始整体倾斜,最后框架末端少量斜翘出水面,最终全部沉入水中。

网箱上浮试验时,通过切换网箱沉浮控制箱内的阀门组,将下沉时放气的两根排气管接入到空压机的充气管路上,空压机工作向各浮管舱内充气,使网箱主框架浮管内的水体加压排出,网箱主框架浮管浮力逐渐增大上浮,首先是网箱充气端框架浮出水面,进而框架另一端的进排水口端浮出水面,出水口附近气泡翻滚,网箱最终整体完成升浮过程。网箱整个上浮过程的出水姿态基本是下沉过程的翻版,网箱整个下沉过程形态演变如图2(上浮过程略)。

第2种结构形式网箱:在下沉试验时,打开网箱水下主控制浮筒的放气阀门,开始放气进水,放气初始阶段,网箱水上框架部分并无明显下沉现象,随着网箱整体浮力的逐渐减少,主框架的主浮管逐渐没入水下,直到水下浮筒浮力减少到网箱总浮力小于网箱总沉力时,网箱整体才开始加速平稳下沉入水下。

### 2.1.6 两种升降式网箱的海上试验观测记录

见表2。

## 2.2 结果

### 2.2.1 不完全下沉

对于第1种结构形式倾角入水的HDPE升降式网箱,在自然放气下沉的最后阶段,因受海洋环境因素风、浪和流的影响,主框架浮管舱相邻的两组排气口在接近下沉临界时刻不能同时沉入水下,造成下沉较慢一侧的排气管路进水阻塞,使网箱整体不能完全沉入水下。

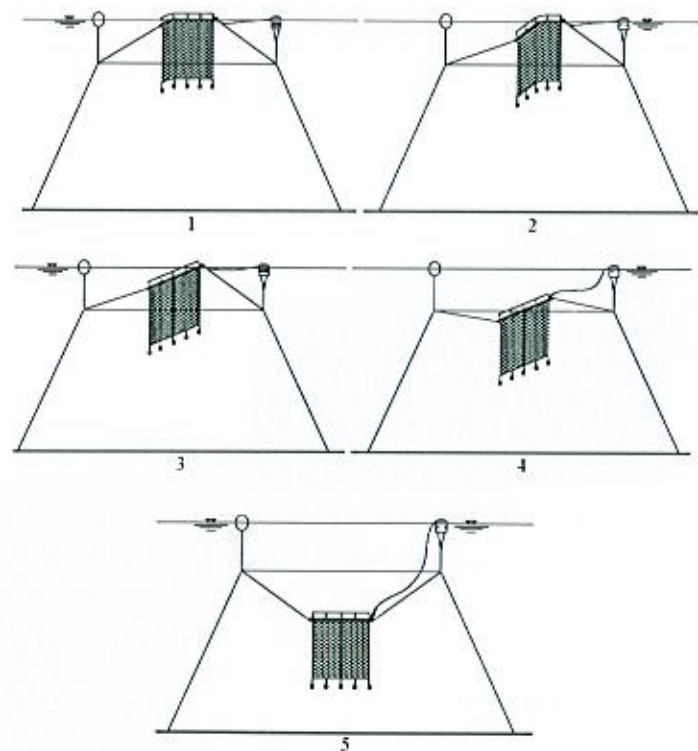
### 2.2.2 实时手动调控

在倾角入水网箱的重复下沉试验中,改用人工目测观察的方式,实时手动调节网箱左右对称分隔舱室的排气控制阀门,不断地对下沉速度比较快的舱室排气阀门减小开度或暂时关闭,待左右两舱平衡下沉时再调整两组阀门到同一开度,使网箱主框架HDPE管上的两组排气管口最后时刻同时沉入水下,完成网箱的下沉过程。

### 2.2.3 容积损失

倾角方式下沉的网箱,下沉过程中

网箱的倾斜造成了圆柱形网衣空间的整体变形,使网箱的养殖水体容积率产生损失,如果倾角过大,就会对养殖鱼类的安全和生存产生影响,控制下沉过程的网箱倾斜角度的大小是影响网箱容积率损失的关键因素。



1. HDPE网箱主框架 Cage main frame, 2. 排气阀门及高强度软管 Drain tap and high strength tube, 3. 浮管舱进水管口 Float pipe cabin nozzle, 4. 网底配重 Weight, 5. 网底钢结构支撑框架 Bottom steel frame, 6. 水下可控主浮筒 Controlled buoy in water, 7. 主浮筒进水管口 Nozzle of main buoy, 8. 钢制沉石筐 Steel rock basket

图2 国产HDPE升降式网箱倾角入水下沉的演变过程

Fig. 2 The sinking process of China-made HDPE submersible deep-sea cage

表2 两种升降式网箱的海上试验观测记录(黄滨等 2008)

Table 2 In situ test record of the two submersible cages

升降网箱 结构形式 The shape of cage	自然放气状态 Auto air release					手动控制状态 Manual-controlled air release				
	沉浮周期 次数 Time	下沉成功 次数 Time	平均下沉 时间(min)	上浮成功 次数 Time	平均上浮 时间(min)	沉浮周期 次数 Time	下沉成功 次数 Time	平均下沉 时间(min)	上浮成功 次数 Time	平均上浮 时间(min)
第1种 The first type	3	0	不成功	3	10	2	2	14	2	10
第2种 The second type	3	3	9	3	9	0	0	0	0	0

### 2.2.4 海上升降式网箱试验(照片)



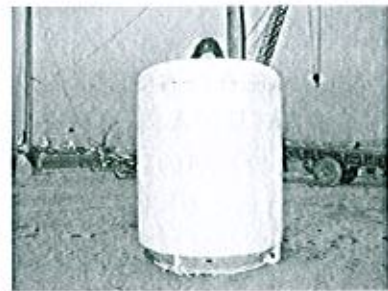
第1种结构形式网箱开始倾角入水的瞬间  
The instant the first type of cage begin to sink



第2种结构形式网箱平稳入水的瞬间  
The instant the second type of cage begin to sink



倾角方式入水网箱的海上操纵下沉试验  
Operation of oblique sinking experiment for cage at sea



第2种结构形式网箱的水下浮力调控浮筒  
The underwater control buoy of the second type of cage

## 3 分析与讨论

### 3.1 影响网箱沉降的因素

国产 HDPE 升降式网箱在自然海洋环境状态中,受风、浪和流等客观因素的作用与影响,使其在下沉过程中各浮管舱间下沉速度不一致,是导致升降式网箱最终不能完全沉入水下的外在成因;而主框架水平浮管舱内进水水体的流动特性则是造成网箱重心偏移和整体倾斜的关键内在因素。图3是网箱网衣受流变形后对主框架产生的作用力分解图。

### 3.2 网箱下沉的临界状态

第1种结构形式中平稳入水式升降网箱,随着网箱主框架浮管舱进水,浮力减少,网箱自身调节平衡的能

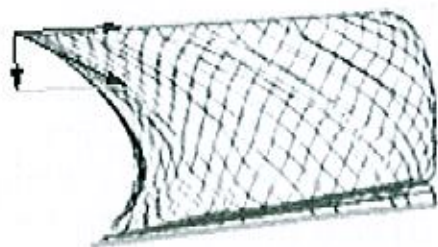


图3 网箱网衣受流变形产生对主框架的拉力分解  
Fig. 3 The pull of the cage frame in the current

力减弱,在网箱总浮力和总沉力接近下沉临界状态时,网箱受到外界因素的影响,极易发生倾斜偏转;第2、第3种结构形式的网箱,主要是水下主控浮筒接近或达到临界状态,利用水下配重的集中下拉力完成网箱的沉降,因此网箱主框架可以基本平衡沉降。

### 3.3 进排气软管的自然放气与手动控制

采用自然放气方式的倾角下沉网箱,在海上试验中出现了不完全下沉的状态,分析其原因主要是受外在因素的影响,在网箱下沉后期,左右浮管舱下沉不均匀,下沉快一侧浮管舱的排气口将临近的另一侧浮管舱的排气口带入水中或接近水面,浮管舱内的排气气流将水带入排气软管内形成水封,导致剩余气体不能完全排除而下沉失败。而手动控制,由于可以近距离观测网箱的下沉状态,手动控制不同排气管的出气量,对网箱下沉平衡提前予以调控,使网箱达到下沉临界状态前,不会出现排水管口接近水面的情况,因此网箱下沉成功。

### 3.4 分舱过多隐患多

研究发现,采用主浮管均布多舱水平下沉式网箱,尽管浮管多舱结构上的均布性,使之各舱内水体流动所产生的网箱重心偏移相对倾角下沉式小很多。但是分舱过多,阀门管路过多,不仅操作繁琐,还造成隐患越多,其中一旦某处阀门管路环节跑漏气,就会使人们在不知晓的情况下,网箱突然沉入或倾覆于水中造成严重损失。因此,在升降式网箱的设计和研制中,注重结构简化,减少环节隐患,是升降式网箱实现可远程遥控自动升降的发展方向(关长涛等 2007)。

### 3.5 网箱水下锚泊框架对网箱下沉倾角的控制作用

采用倾角下沉方式的网箱,必须对主框架的下沉倾角予以控制,否则会出现网箱的倾斜侧翻,造成网箱养殖容量的损失,对鱼类的安全与生存构成威胁。固泊在水下锚泊框架上的升降式网箱,完全是利用水下框架的牵拉来控制网箱的下沉倾角的,虽然海上试验中无法对网箱的下沉倾角进行测试,但理论计算可以得出其最大的倾斜角度不会超过 $30^\circ$ (黄六一等 2006),由此产生的网箱的容积损失率不大于15%,它与相同的全浮式网箱在海流作用下30%~70%的容积损失率(吴常文等 2007)相比影响并不大,同时也证明了利用水下锚泊框架对网箱下沉倾角的控制是可行的。

## 4 解决方案

针对升降式网箱在下沉过程中不能完全沉入水中这一关键技术,克服自然放气状态下网箱浮管舱排气管口最终不能同时入水而造成气路进水阻塞问题,设计了一种泵压式网箱沉浮的方法和控制装置(另文详述),并已于2007年10月获国家发明专利授权。泵压式网箱沉浮的主要原理是利用一种远程遥控升降控制箱装置中的小型潜水泵向网箱浮管舱一端泵水,将浮管舱内的空气从另一端强制性挤压排出,使网箱倾角入水并下沉。它的优点是下沉速度快,成功率高,浮管舱水下部分不开进水口,从而避免了因阀门管路环节跑漏气进水,使网箱突然沉入或倾覆于水中造成的严重损失,从根本上改变了升降式网箱在日常生产中因浮管进水导致的浮力不足问题,进而实现于升降式网箱可远程遥控自动升降控制技术的发展目标。

## 参 考 文 献

- 关长涛,王清印. 2005. 我国海水网箱技术的发展与展望. 渔业现代化, 3: 6~9
- 关长涛,林德芳,黄滨,黄文强,崔勇. 2007. 深海抗风浪网箱养殖设施与装备技术的研究进展. 现代渔业信息, 22(4): 6~8
- 黄滨,关长涛,崔勇,李娇. 2008. HDPE 倾角入水式大型升降网箱的研究. 渔业现代化, 35(1): 1~4
- 吴常文,朱爱意,沈建林. 2007. HDPE 深水网箱抗风浪性能的海区验证试验. 海洋工程, 25(2): 84~90
- 郭根喜,陶启友. 2005. 升降式深水网箱控制平台的尺寸设计. 湛江海洋大学学报, 25(3): 52~55
- 郭建平,徐文辉. 2003. 高密度聚乙烯升降式大型深水网箱的开发. 渔业现代化, 5: 30~31
- 黄六一,梁振林,万荣,赵芬芳,朱立新. 2006. HDPE 圆形升降式网箱下沉时最大倾角的研究. 中国海洋大学学报, 36(6): 953~958