

# 深水网箱养殖中的声学监测问题<sup>1</sup>

王润田<sup>1</sup>, 龚剑彬<sup>2</sup>

(1. 中国科学院东海研究站, 上海 200032, 2. 舟山海洋科技有限公司, 浙江, 316000)

**摘要:** 深水网箱养殖技术作为在海洋水产方面的一个重要应用技术正在大力推广。但是在推广过程中发现了一些诸如网衣安全、鱼类透逸等问题, 迫切需要相关的监测或防范手段的配套。在海水中, 声波是最佳的信息载体, 因此声学应该也一定能够为深水网箱养殖技术的推广提供必要的支持, 并为自己开辟一个新的应用领域。本文介绍了三种类型的监测技术应用: (1)声学警戒带方式构成的被动式网衣安全监测技术, (2)基于网箱中的鱼的目标强度的鱼体大小, (3)数量的识别技术以及饵料投放过程中的声学监测技术。

**关键词:** 深水网箱; 声学监测; 目标强度; 海洋水产

Acoustic Monitoring for Ocean Aquaculture in Sea Cage

Wang Runtian<sup>1</sup>, Gong Jian-bing<sup>2</sup>

(1. Shanghai Acoustics Laboratory, Shanghai, 200032, China)

(2. Zhoushan Ocean Technical Limited Co operation, Zhejiang, 316000, China)

**Abstract:** There is a very important technique that is caged ocean aquaculture. Its application area is expanding rapidly. But there are some questions. For example: if a sea cage is broken, the fish in the sea cage maybe swim out of and can not swim back. It is needed to find out some ways to protect fish swim out from the broken sea cage, to monitoring the fish feeding in sea cage, to measure the length of fish in sea cage, and so on. Sound is a very good tool to do it in ocean. Three kinds of acoustic methods that can be used to monitor the cage and fish were discussed in this paper.

**Key words:** sea cage; acoustic monitoring; target, Ocean Aquaculture

## 1、引言

顾名思义, 深水网箱养殖就是在深水域利用网箱进行海水养殖的一种技术或方法。众所周知, 随着先进技术的普遍使用和人们对海洋资源的过度利用, 近海海洋渔业资源迅速衰竭, 近海几乎无鱼可捕。尽管我国政府采用了休渔政令, 起到一定的效果, 但大量的渔民还是经常无鱼可捕, 面临着转产转业的社会问题。因此, 政府近年来大力推进深水网箱养殖技术, 目的是想要引导部分渔民从传统的被动海洋捕捞方式向主动的海洋“放牧”方式过渡。国家海洋 863 计划在 95 期间专门设立了抗风浪深水网箱技术的开发课题, 沿海各省都投入大量人力、物力和财力推进此项技术的研发和推广进程。目前这种技术在沿海诸省得到迅速发展, 据不完全统计, 仅浙江一省, 2003 年的深水网箱预计数量达 5000 只。预计到 2010 年可达 10000 只。常规的小网箱目前已有大约 80000 万只。由此可见, 这是一个发展势头非常好的应用技术。

## 2、深水网箱养殖中的声学监测问题

深水网箱养殖技术之所以推广的非常快是由于这是一项造福于民的技术。那么声学在深水网箱养殖中是否可以找到应用呢, 答案当然是肯定的。声波在海水中是最为理想的信息载体, 由此我们可以预见, 声学技术在深水网箱监测中会大有作为。经过了大量的调查了解后发现, 网箱安全的声学监测技术、网箱中养殖鱼类的声学监测技术以及养殖过程中的声学监测技术在深水网箱技术的推广中有着良好的应用需求。在某些条件下其重要性不亚于该项技术本身的重

<sup>1</sup> 本文受 2002 年度浙江省重大科技攻关项目资助, 项目批准号: 021103552

要性[1-6]。下面我们逐项来介绍深水网箱及其养殖鱼类的声学监测技术及其应用。

## 2.1 网衣安全即透鱼监测问题

深水网箱是利用有一定强度的 ABS 塑料或钢材料制成一种柱形、方形或碟形框架结构，再挂上尼龙网片就构成了一个封闭的空间，如图 1 所示。其中的网片通常称为网衣。养殖的鱼虾等就被限制在网内活动。很显然，网衣的安全就显得十分重要。因为一旦由于某种因素造成网衣破损，那么养殖在网箱内部的鱼虾就会象飞出笼子的小鸟，遨游大海，再也不会回到网箱内部，这将使渔民蒙受巨大损失。2001 年，沿海某地就有二网箱大黄鱼全部游走，造成上百万元的经济损失。因此，网衣安全问题在该项技术推广中是必须首先考虑的问题。

在清水域，比如我国的海南岛，可以采用水下电视长期监视网箱，一旦网衣出现破损，即刻进行修复。这样可以有效的解决网衣安全问题。但是在我国北方及东部沿海诸省、市的沿海海域，往往以混水为主，水下电视的有效观测距离不过几米，无法对深水网箱进行有效监视。而在这种情况下，声学技术的应用将是有效或合理的选择。



图 1 圆柱型深水网箱的一般形状

### (1) 采用多部声纳构成声学警戒带

目前国内常见的深水网箱的尺寸大多是直径为 10~15 米，深 10~20 米的圆形或蝶形网箱，也有方形，尺度相近。一般采用海洋“牧场”形式，即将几十个或数百个这样的大型网箱安放在一个海域构成一个养殖场。这种情况下可以采用在海底布设若干数量的声纳，对网箱区域周围实施声学警戒的方法来感知网箱的破损或鱼类的逃逸。

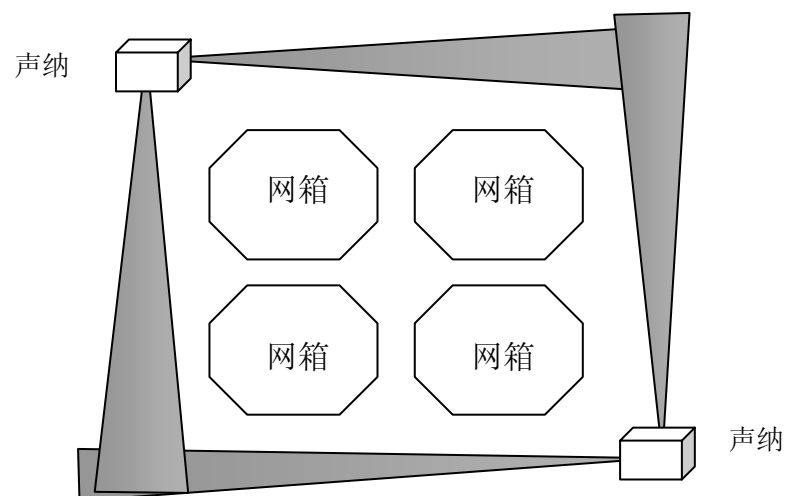


图 2 深水网箱声学警戒带示意图

图 2 为深水网箱声学警戒带示意图（顶视图）。即从海面垂直向海底方向的视图。图中布置了四个网箱，对于大型养殖场来说，这样的网箱可能会有数十个或上百个。两个对角安放的四只声纳。这四只声纳分别承担东南西北四个方向上的监视。这样一来，四只声纳就构成了一个声警戒带。如果在警戒带内出现了鱼类的异常活动，则可以立刻报警给养殖场管理人员，达到设防的目的。监视声纳可以是单波束（经济型），也可以是机械扫描的多波束或电子扫描的多波束（豪华型）。由图可见，每个养殖场只要一次布设 4 部这样的声纳就可以实现设防的目的，对于一般的养殖企业，这种方案是经济实用的。如果网箱的数量比较多，声纳的作用距离应该大一些，以构成一个封闭的声学警戒带。这种声纳在设计时，应该充分考虑使用环境因素。深水网箱往往是安放在近海比较安全的地方，然而即使遇到 10 级~12 级台风，也不可能像船一样走开。它必须坚守在那里。因此抗大风大浪的冲击是必须要考虑到的。再就是它在海上要长年连续工作，供电及节能也是一个主要技术问题。远距离数据传输等问题也应给予足够的重视。

上面我们介绍的是定点式警戒。定点式警戒的优点是只要一次布设后即可长期使用，而且反应比较快，几乎实时。但缺点是海上供电、数据传送、电缆布设的工程量及造价都比较高，最好是在养殖场的建设的同时就考虑进去。

## （2）采用水下机器人进行巡视

如果网衣的破损不是非常严重，那么网衣破损后网内的鱼不大会在很短的时间里全部游走，我们可以采用机动方式来实施监测。在水下机器人上搭载声纳传感器，给水下机器人设置好行动路线，它就会按预设的路线反复巡视，水下机器人的行走路线就是一个警戒带，在这个警戒带中，如果出现了鱼类活动的异常现象，机器人就会向管理人员报告，从而达到警戒的目的。我们承担的浙江省重大科技攻关项目：“浙江混水域深水网箱监测设备”中的网衣安全监测就是采用这种间接的监测方式。这中监测方式的优点是机动性强，观测准确度高。无论是大型养殖场还是小型养殖企业，都可使用。

## 2. 2 网箱中鱼体大小、数量的监测

尽管投入网箱中的鱼苗的数量是已知的，但是由于在养殖过程中会有一部分死亡，生长快慢不同，鱼体大小差异也比较大。同时，只有将大小合理，味道鲜美的鱼投放市场才会取得经济效益的最大化。因此有必要对网箱中的鱼体大小、鱼量进行监测。

对于单体鱼大小的观测方法，已有很多文献报道。比如，可以采用高分辨率的图像声纳，将其成像，然后进行图像处理，即可知道鱼的体长等体态特征。图 3 为利用 DIDSON 的多分辨率图像声纳采集到的鱼的图像[7]。

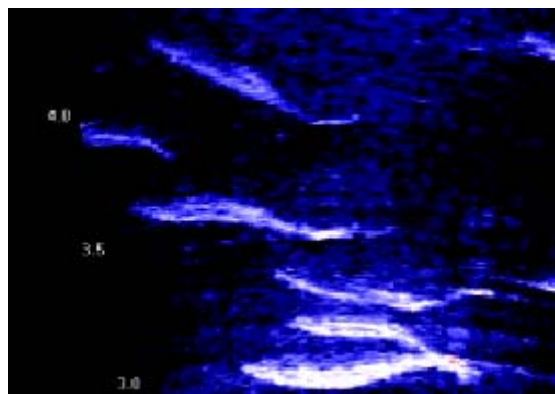


图 3 网箱中的鱼在图象声纳下的图象

对图 3 中的图像进行图像识别处理, 即可得出鱼体的大小特征。这种方法的特点是直观、准确度高。缺点是成本高, 对于养殖业来说难以承受。而且还有一个致命的问题: 就是对于高分布密度的深水网箱中的鱼虾的观测和识别, 由于平面图像的重叠, 造成识别的困难或准确度的降低。

另一种有效的监测方法是利用鱼体的目标强度来进行监测。假设某条鱼的目标强度为  $TS_i$ , 同时假设不考虑多次反射并假设网箱中鱼的大小是均匀的, 则声纳接收到的回波强度就是由网箱中的每条鱼的回波强度的线性迭加而成。即: 总目标强度  $TS$  可用下式表示:

$$TS = 10 \log N + TS_i \quad (1)$$

其中:  $N$  是网箱中鱼的数量。

大量的研究表明, 鱼的目标强度主要取决于鱼的体态特征, 同时也与发射声波的波长有关, 可以用下式表达[8-10]:

$$TS_i = A \log L - B \log \lambda + C \quad (2)$$

其中:  $L$  是鱼体长度,  $\lambda$  是使用的声波的波长,  $A$ 、 $B$ 、 $C$  是常数。

将 (1), (2) 两式合并:

$$TS = 10 \log N + A \log L - B \log \lambda + C \quad (3)$$

(3) 式中  $A$ 、 $B$ 、 $C$  的大小取决于鱼的种类。对于不同类型的鱼,  $A$ 、 $B$ 、 $C$  的取值变化比较大。所幸的是, 网箱中养殖的鱼的种类一般比较单一, 这就为我们利用这种原理监测其大小提供了方便。(2) 式成立的一个条件是不计多次反射, 这在实际应用中是不可能的。我们还必须考虑多次反射的影响。因此, 还必须对 (2) 式引入一些必要的修正。关于如何处理多次反射造成的观测误差的问题, 作者将专题介绍, 这里不再展开。(2) 式中的  $L$  代表的是网箱中鱼的平均长度。由于网箱中的鱼的生长不可能完全一样, 所以可以通过采用多频或宽频声信号来观测出网箱中鱼的体长分布, 从而实现对网箱中养殖品种大小、数量的统计监测目标。

### 2.3 网箱喂养过程监测

深水网箱养殖类似于人工池养。它的喂养过程也是定时定期投放饵料。饵料到底投放多少比较合适, 目前主要是靠经验。这种粗放型喂养方式很不科学。投放多了, 鱼吃不完, 剩余部分就可能堆积在网箱附近海底, 除了饲料浪费外, 还可能造成海洋环境污染, 引发病毒感染。利用声学手段来监测投料全过程, 当投放的饲料开始从网箱底部漏出时, 就要开始减少投放饲料, 并减缓投料量。显然, 利用声学手段监视饵料的投放全过程, 可以减少饵料的浪费, 降低饲养成本, 有效地保护网箱附近的海洋环境。图 4 是监视网箱喂养过程的声纳布设及工作示意图。[11]

如图 4 所示, 在网箱边上安放了一部海流计, 在网箱后部安装了一部小型声纳。声纳的波束方向随海流方向自动调整。一旦投放的饵料出现过剩, 就会出现在声纳的可视范围之内。在声纳监视屏上就会出现相应的图像。饲养人员可以通过声纳屏幕来调控投饵过程, 达到最合理的投放量, 如有条件的, 还可以将声纳输出信号馈入饵料投放仪, 一实现饵料投放的自动化。有了这样的监视设备, 饲养人员投放饵料就有了比较科学的依据: 即可以根据鱼的进食量来投放饵料。一旦发现鱼的进食量减少, 可能表明网箱中的鱼已长成大鱼, 应该起鱼上市。

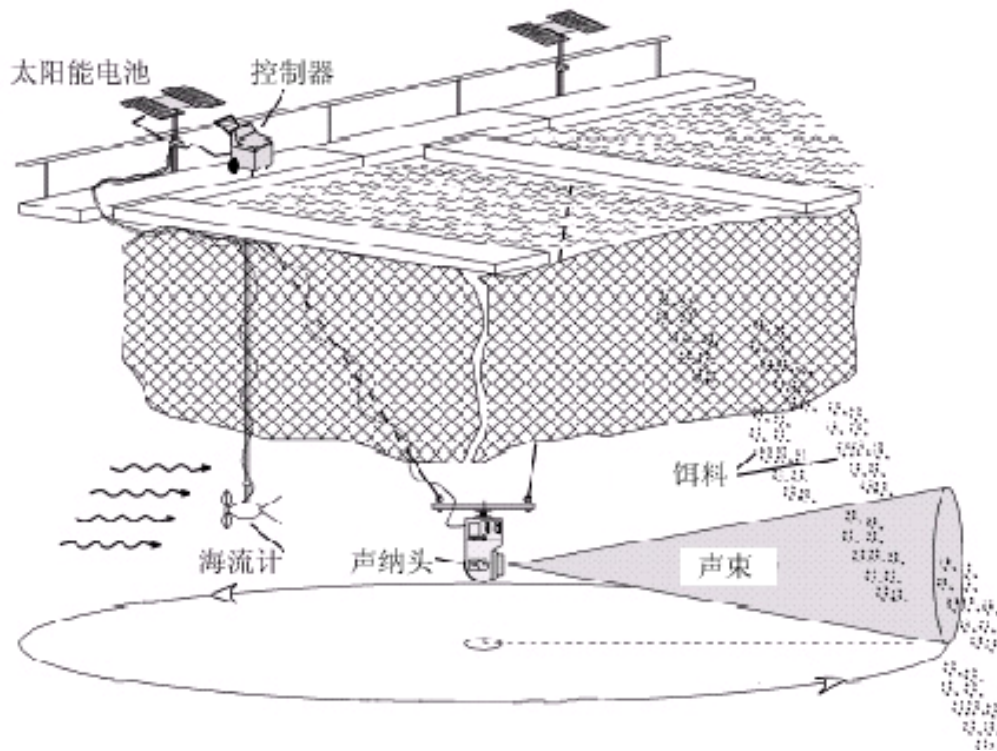


图4 喂养过程声学监视示意图

喂养检测用声纳采用一般的简易鱼探仪的原理就可以。只是应该合理设计其机械结构。声纳的声波波束主瓣方向应尽可能的与海流方向保持一致。声纳的水上部分，可以做成可移动式结构，当投放饵料时，与水下部分相连，投放过程完成后收回。移到下一个网箱。这样可以大大降低成本。

### 3、结论

上面我们介绍了声学技术在深水网箱养殖技术中的三个典型的应用。通过这三种不同的应用，我们已看出了声学在深水网箱研制业中的应用前景。随着我国深水网箱养殖技术迅速的推广和深水网箱制造技术的不断进步，不受大风浪的影响的大型抗风浪网箱也已开发成功并投放市场。这种网箱一旦遇到台风，就会潜入海中，等待台风过后，再升到海面。由于要下潜，所以，就必须是全封闭结构。这种结构的网箱，在通常情况下，即使在投放饵料时，也看不到网箱中的鱼，因此，监测设备对于这种网箱的使用和推广更显迫切和重要。另外，网箱在海水中长期浸透之后，会附着大量的海草等水生植物。利用超声波来清洗网衣的设想也已在孕育之中。

浙江省于2002年设立重大科技攻关项目，投入300万元，开展深水网箱监测设备的技术攻关，这也从另一个角度说明了监测设备的重要性。总之，我们认为：声学技术在深水网箱养殖中存在着许多的应用投资和市场前景。随着声学技术向网箱养殖技术的渗透，会给声学技术带来一个新的应用领域。

### 参考文献

- [1] ICES: Symposium: "Acoustics in fisheries and Aquatic ecology", 2002.6, 10-14, France, Montpellier.
- [2] Fish Sizing Sonar system 100-600Khz, Fish Tank, No.6, V111, 2002

- [3] Anonymous, 1998, Report of the study group on echo trace classification, IEES, CM, 1998/B:1
- [4] Anonymous, 1999, Report of the study group on echo trace classification, IEES, CM, 1999/B:2
- [5] Horne J.K., and J. M. Jech ; 1999, Multi-frequency estimative of fish abundance; constraints of rather high frequencies, ICES, Journal of Marine Science 56; 184-199
- [6] <http://www.persistor.com>
- [7] S. and Rose, G. A. "Target strength of encaged Atlantic redfish". ICES Journal of Marine Science (2001), 58:562-568
- [8] McCartney, B. & Stubbs, A. (1970). Measurement of the target strength of fish in the dorsal aspect, including swimbladder resonance, in G. Brooke Farquhar, Ed. *Proc. of the Int'l Symp. on Bio. Sound in the Ocean*, pp. 180-211.
- [9] Love, R. (1969). Maximum side-aspect target strength of an individual fish, *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 46, No. 3 (Part 2), pp. 746-752.
- [10] Bjerkeng, B., et al. (1991). Fish size distribution and total biomass estimated by hydroacoustical methods: A statistical approach, *Fisheries Research*, Vol. 11, pp. 41-73.
- [11] [http://www.biosonicsinc.com/search\\_doc.cfm](http://www.biosonicsinc.com/search_doc.cfm) Digital scanning sonar for fish feeding monitoring in aquaculture.