

文章编号: 1674-5566(2013)03-0398-06

海洋牧场鱼类驯化装置设计与试验

张磊¹, 胡庆松¹, 章守宇²

(1. 上海海洋大学 工程学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306)

摘要: 当前海洋牧场鱼类驯化以人工操作为主, 鱼类自动驯化是建设高效海洋牧场运行模式的重要技术措施。根据部分鱼类具有趋声性或趋光性习性, 设计了能定时播放声音和开启灯光、同时配合饵料定时定量供应的鱼类驯化装置。通过无线水下视频监控和定位通讯, 实现对驯化效果监控和远程控制。实际试验中, 以黑鲷鱼苗为研究对象, 经过 30 d 的驯化, 在播放声音和开启灯光后, 黑鲷幼苗集群效果明显。试验结果表明该驯化装置的驯化效果明显, 声音、光线、饵料供应、能量供应系统等工作正常, 达到了设计要求, 为海洋牧场鱼类自动驯化提供了有效的装备支撑。

研究亮点: 为实现鱼类行为控制这一海洋牧场关键技术之一, 设计了一种新型鱼类驯化装置。根据鱼类的记忆和学习能力、趋声性、趋光性, 每天定时定量投入饵料, 配合播放声音或光照刺激, 实现鱼类的条件反射。该装置采用太阳能与蓄电池结合的方式, 实现自主能源供应。

关键词: 海洋牧场; 鱼类驯化; 趋声性; 趋光性

中图分类号: S 953.2

文献标志码: A

海洋牧场(ocean ranching)为在某一海域内建设适应水产资源生态的人工栖息场, 采用增殖放流和移殖放流的方法, 将生物种苗经过中间育成或人工驯化后放流入海, 利用海洋自然生产力并进行微量投饵育成, 同时采用先进的鱼群控制技术和环境监控技术对其进行科学管理, 使其资源量增大, 有计划且高效率地进行捕捞^[1]。基于以上定义, 有两个问题非常关键: 如何保证放养的鱼苗不会从海洋牧场流失, 如何保证渔场能够吸引野生的鱼类进入海洋牧场。这两个问题关系着海洋牧场能否高效发挥它的正常功能。

为解决上述两个问题, 根据部分鱼类具有趋光性^[2]、趋化性^[2]或趋声性^[3]的习性, 设计了一种基于条件反射原理的鱼类驯化装置。通过每天定时投入少量掺杂香味或腥味等信息素的饵料, 同时用声音和灯光诱集鱼群, 让鱼意识到这里每天都会有食物, 从而减少鱼苗在放流过程中从海洋牧场中的流失, 同时也可以吸引野生鱼类流入海洋牧场。如此, 不仅保证了海洋牧场的正

常发展, 也很大程度上增加了海洋牧场的渔业资源, 为海洋牧场的高效运行提供了支撑。

1 鱼类驯化装置功能设计

近年来, 东海海域大力放流大黄鱼、黑鲷、黄姑鱼、厚壳贻贝、曼氏无针乌贼等鱼种, 以修复近海生态环境。作为东海区重要的放流鱼种, 本设计中均根据黑鲷的趋光性和趋声性进行关键技术指标设定, 黑鲷的听觉阈值为 100 ~ 1 000 Hz, 最佳感受音频为 300 ~ 400 Hz, 驯化装置以实现这些指标进行设计。结合海洋牧场的特殊环境, 通过采用声音、灯光、信息素配合饵料实现鱼类驯化, 该装置具有无人值守自动操作的功能, 并采用水下视频和 GPS 技术对驯化装置进行远程监控和定位。

鱼类驯化装置功能组成如图 1 所示, 主要包括浮体、饵料供给系统、诱导信号系统、能源供应系统、定位通讯系统以及环境监控系统。浮体是整个驯化装置的支撑, 其它所有的系统都依托于

收稿日期: 2012-11-17 修回日期: 2013-02-16

基金项目: 上海市教育委员会创新基金(12YZ133); 公益性行业(农业)科研专项经费(201003068)

作者简介: 张磊(1988—), 男, 硕士研究生, 研究方向为机电一体化。E-mail: zjstone1988@163.com

通信作者: 胡庆松, E-mail: qshu@shou.edu.cn

浮体。根据海洋牧场的环境,浮体的外形设计要考虑海浪和海流的影响,以满足在 5 级海况下仍能工作的要求。驯化装置的饵料供给部分采用直流电机驱动螺旋输送带为初步方案,通过控制系统每天定时定量喷洒饵料。诱导信号系统包括声音诱导和灯光诱导两部分。研究表明,黑鲷等许多鱼种具有方向性听力和辨别声源的行为能力^[4],而且会依靠声音来相互交流,通过生理机制发声完成求偶、预警等信息的传递^[5]。声音诱导部分采用声音放大单元的设计思路,结构简单重量轻,满足声强、传播距离远的要求。目前已知对黑鲷的引诱水中声压为 110 ~ 130 dB^[6],鱼类在最敏感频率范围内的临界比(放声声压与白噪声压的差)一般小于 40 dB,听觉敏感鱼类的临界比小于 20 dB^[7],为了避免环境噪声对放音产生遮蔽现象,需要对不同鱼种设定不同的声压值,同时,针对不同的鱼种,还需根据其行为特征选择不同的声音信号^[8]。灯光诱导主要是光颜色和光照度的选择,已知底层鱼类的可感受光谱范围约为 410 ~ 650 nm,上层鱼类的光谱范围约为 400 ~ 750 nm^[2]。根据不同光谱对应的颜色不同,再结合所需驯化的鱼类的不同,选择颜色最适合的灯光。信息素主要是根据鱼类的趋化性制作的食品添加剂,将腥味、香味等信息素混入人工饲料中,投喂时散发出鱼类喜欢的味道。

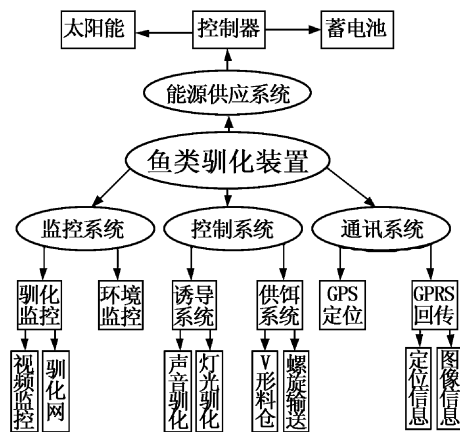


图1 海洋牧场鱼类驯化机装置功能说明图
Fig.1 Function illustration of domestication equipment in ocean ranching

能源供应系统采用蓄电池结合太阳能发电装置,实现供电,满足连续用电的需要,以实现长期无人值守的目的。定位通讯系统采用 GPS 实

现,借助 GPRS 通讯网络将定位信息和图像信息传回,从而实现驯化的无线远程监控,省时省力,也避免人为因素对鱼类驯化的影响。监控系统采用网络摄像机,对驯化装置的内部和外部工作进行监控,也可通过水下监控观察鱼类的生长情况和驯化效果,从而采取相应的调整措施。该系统中还设置了一些附属设备,对水温、水深等海洋环境参数进行监测。整体结构如图 2 所示。

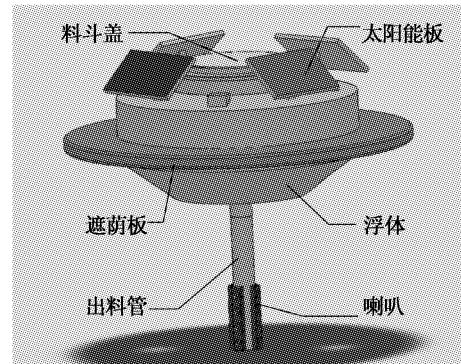


图2 驯化机整体结构

Fig.2 The whole structure of domestication equipment

2 驯化装置子系统设计

2.1 诱导信号系统和饵料供给系统

本部分包括放音系统、灯光系统和饵料供给 3 个部分。放音系统的设计原则是音源合适、功率满足传播距离 40 m,能够根据需求和设定在每天的同一时刻定时放音和结束放音。灯光系统的设计原则是灯光颜色适宜,满足辅助诱鱼的要求,试验后选择绿色 LED 灯光,同时也能够为水下监控设备提供光源。饵料供给系统的设计原则是工作稳定可靠,而且供料量、供料速度、供料时间和供料持续时间可以进行人工控制。声音驯化系统主要是根据黑鲷具有水下声源定位能力与记忆能力^[9]进行设计,灯光驯化系统主要是选择对鱼类具有正趋性的灯光颜色。放音系统选用功放电路板和水下喇叭进行放音,通过测试发现,连同功放在内,放音时电压 12 V,单台功率 24 W 左右,两台功率为 48 W;正常工作情况下距离喇叭 1 m 处采用水听器检测水中声压为 117.8 dB,在 40 m 处测得水中声压为 113.9 dB,与理论估算值 115.3 dB^[10]相差 1.4 dB,黑鲷等鲷科鱼类的听觉范围为 100 ~ 120 dB^[11],完全满足实验要求。放音开始时间和时长由时间控制器进行

人工设置来实现,为了能适应不同鱼类摄食时间不同的需要,放音时间可以调整和修改。灯光辅助系统采用20个波长为500 nm的绿色LED灯组串联,用光强测量仪测得单个灯的光照强度为19 200 lux,2 m远处光强为2 lux。通过测试,LED灯组两端输入电压为12 V,其电流为0.3 A,功率为3.6 W。灯光的工作时间与放音系统相同,可以将两个系统并联在同一个时间控制回路中。

如图3和图4所示,饵料供应部分采用V形料仓储料、电机带动螺旋输送带进行饵料输出。为控制饵料供应量和具有较好的密封性,采用螺旋输送带进行饵料的输出。电机采用15 W/12 V直流电机,测试表明,在扭矩、功率方面较好地满足本设计要求。试验表明,在养殖10 000条黑鲷鱼苗的情况下,平均每天需要4 kg左右的饵料。目前料仓设计40.8 kg容量,满足要求。

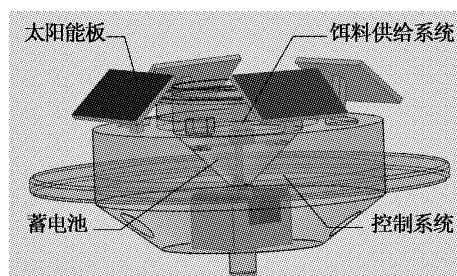


图3 驯化机整体结构

Fig.3 The whole structure of domestication equipment

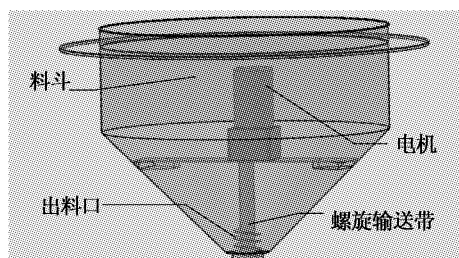


图4 饵料供给系统

Fig.4 Feed supply system

2.2 监控系统

鱼类驯化中需要对整个驯化设备进行监控,确认设备是否运行正常,同时也需要观察放音后鱼是否会聚集,从而得到设备的驯化效果;进一步通过观察鱼类的生长情况,适当增加饵料的输出。

由于需要随时对驯化设备进行监控,故选用

网络摄像机,其型号为IPC-R5110PL-W-IR1,内置CR-CUT双滤切换,感光性能好,分辨率高达1 280 × 720,同时设计一个放置摄像机的防水护罩,在驯化机外部布置摄像机进行监控。该网络摄像机可以通过GPRS (general packet radio service)通讯网络实现远程操作,在需要时,打开摄像机观察驯化装置的工作情况和效果。

2.3 通讯定位系统

尽管采用锚泊系统对鱼类驯化设备进行固定,但是海洋牧场中有一定的风浪,驯化装置可能在周围漂动,同时为了保证锚链断裂驯化机被大风浪冲走或被窃后能够寻回,需要确认驯化装置的位置,随时掌握驯化设备的行踪。本设计中采用GPS(global positioning system)对驯化设备进行定位,借助GPRS通讯网络将定位信息传回,实时反馈当前驯化设备的经纬度坐标,确定驯化机的位置。

2.4 能源供应系统

由于海洋牧场的特殊性,不可能从陆地上搭接电缆为驯化设备提供电能,为增加设备的实用性,需要实现驯化设备在连续7 d阴雨情况下正常工作,因此,必须确保音响、灯光、饵料供给、监控和通讯定位系统的能源供应。

本设计采用了蓄电池和太阳能供电相结合的方式,太阳能板面积根据驯化机总体布局和设备用电情况采用了4块10 W的板组成。通过测试,整套系统的总体功率峰值为42 W,在用12 V容量为40 Ah蓄电池进行测试发现,以峰值每天工作20 min计算,仅蓄电池电能可以供应9 d以上。太阳能供电的测试表明,在正常太阳直射光照强度为 $6 \times 10^4 \sim 1 \times 10^5$ lux的情况下,所采用的太阳能板(10 W,368 mm × 227 mm)可以提供 $0.3 + 0.5 \times 2 + 0.7 A = 21V/2A$ (测试结果)的充电电压/电流,4块太阳能板在太阳光直射一个小时可以为蓄电池充进大约40 Wh的电量,而且即使太阳能板与太阳光线角度较差时也可实现对蓄电池进行充电。

2.5 系统的进一步优化设计

上述设计为基本方案,还需根据实验和使用情况进一步对驯化装置进行改造以提高性能、降低成本从而利于实际推广。

考虑到海洋牧场的风浪特征,驯化装置需要有较强的抗风浪性能。本设计中,在浮体的吃水

线处增加了一圈浮体作为遮荫板(图2),不仅增大了驯化装置与水面的接触面积,使整个装置在风浪中更加平稳,而且一定程度上增加了驯化装置的浮力。同时,由于目前市场上现有的喇叭,大部分都只适合在空气中使用,而不适用于海水中。而且现有的水底专用喇叭不仅体积大价格贵,而且只适用于净水区,即使能用于池塘、网箱、河道、海洋等渔业养殖场所,但其水底附着物清洗十分不方便。因此,根据实际需要,设计了一种水下专用喇叭,采用橡胶作为喇叭的基座,将两个喇叭并联后再与另一组喇叭串联,然后安放于基座上,将两个接线头引出后在基座上盖一块透明防水透声膜,最后用硅胶将橡胶基座与防水透声膜进行加固。改进后的喇叭不仅成本低,声音效果好,而且清洗十分方便,只需擦拭防水透声膜即可清洁干净。改进后的喇叭结构图和布置图如图6和图7所示,经过试验测得,改进后的喇叭水下声压可调范围为0~150 dB。

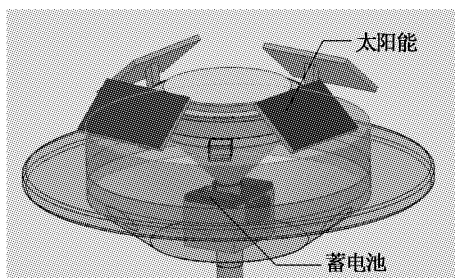


图5 太阳能板蓄电池能源供应系统
Fig.5 Solar panels lead storage battery energy supply systems

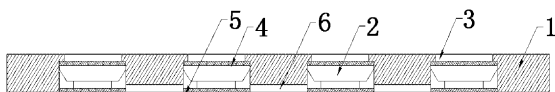


图6 改进后的喇叭结构图
Fig.6 Structure chart of the improved horn

1. 基板; 2. 喇叭; 3. 通孔; 4. 薄膜保护密封片; 5. 压紧密封片; 6. 排线槽。

3 材料与工艺

驯化装置的整体结构都采用304不锈钢(18Cr-8Ni),其常温和低温下有良好的韧性、塑性、焊接性、耐腐蚀性及无磁性^[12],不容易产生腐蚀、点蚀、锈蚀或磨损等现象,是一种通用性的不锈钢材料,也可以容易地去除表面的涂写污染或

类似的其它表面污染。304钢海水腐蚀电位的稳定时间为40~80 d^[13],为了提高设备的安全性,需要在与海水接触的不锈钢外表面涂上一层电蚀保护膜。

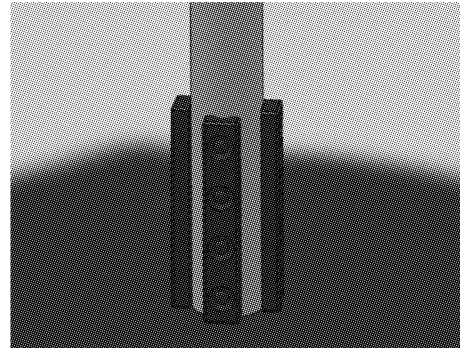


图7 改进后的喇叭安装效果图
Fig.7 Installation rendering of the improved horn

在实际加工中,采用长与宽分别为1 200 mm和2 400 mm的304不锈钢板,根据零件图进行排样,并用大型激光切割机床,获取所需的展开零件。再根据所要求,对展开零件进行弯曲、折弯等工序,得到需要的组装零件。接着根据图纸要求,采用电弧焊将各个组装零件进行焊接成型,并用砂轮、砂纸等去掉毛刺,使整个设备表面光洁。最后对设备进行漏水检验,将70 kg的水倒入设备内部,经过半个小时后,检查设备表面是否有漏水现象。结果表明,设备的焊接处十分安全可靠,不会产生漏水现象,因此置于内部的蓄电池等设备能够安全工作。

4 系统实验

为了验证鱼类驯化装置的有效性,在象山港对黑鲷鱼苗进行了驯化试验。根据黑鲷的行为特征对驯化装置进行了相关设置和调整,主要包括声音的设置,灯光的选择和信息素的配合。根据黑鲷最佳感受音频,声音驯化系统采用350 Hz单频音作为驯化音源。黑鲷属于听觉敏感鱼类,水中距离喇叭1 m处的水中声压为117.8 dB。黑鲷是底层鱼,具有一定的辨色的能力,其光谱敏感区间为430~560 nm,曲线峰值为485 nm^[14],该波长处于青色可见光光谱,但是黑鲷的生活环境主要是蓝色或者蓝绿色^[12],为了避免海洋环境的影响,同时增加灯光与环境的对比度,因此在黑鲷的光谱敏感区间之中选择波长500

nm 的绿色可见光作为驯化光源。实验证明,在海水环境背景中,黑鲷在光谱为 500 nm 波长时,具有最好的诱集效果。黑鲷食性杂,偏肉食性,以贝类与小鱼虾为主要食物,因此在试验饲料中添加了腥味信息素。将驯化装置放入水中后,开始对黑鲷鱼苗进行驯化试验。

经过 30 d 的声音、灯光及信息素配合饵料的综合驯化之后,可以通过水下摄像监控系统明显看见黑鲷的驯化效果。通过试验可以发现:在未开始放 350Hz 单频音和未开灯光时,附近有少量经过驯化的鱼群在驯化装置周围游弋,如图 8 所示;开始放音与打开绿色灯光后,鱼群开始在驯化装置附近集群等待食物,如图 9 所示。

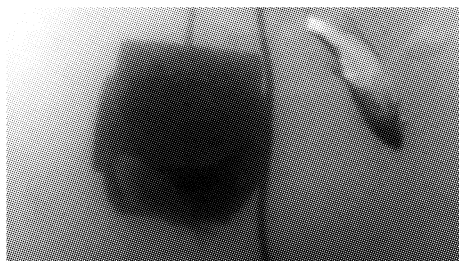


图 8 放音开灯前喇叭附近的驯化效果

Fig. 8 The domestication effect near the horn before open voice and light

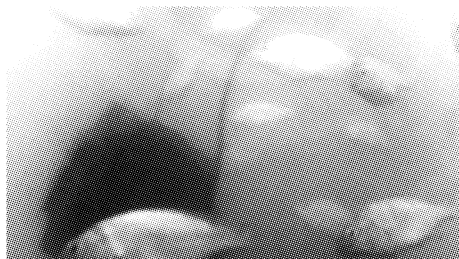


图 9 放音开灯后喇叭附近的驯化效果

Fig. 9 The domestication effect near the horn after open voice and light

同时,驯化试验结果表明整个系统达到了预期的驯化效果,设计合理,声音、光线、饵料供应等工作正常,安全性与稳定性良好,达到了设计要求,太阳能供电系统完全满足各个系统的能源需求,为海洋牧场鱼类驯化系统自动化提供了有效的工具。

5 结论

海洋牧场鱼类驯化装置主要是根据鱼类的

记忆力、趋声性、趋光性和趋化性进行设计,利用声音、灯光以及信息素配合饵料诱鱼进行驯化,使鱼形成定点定时摄食的条件反射。针对黑鲷的驯化试验结果表明,该驯化装置不仅对鱼类的驯化有很显著地效果,而且能利用新能源进行自主供电,满足各个系统的长期工作,可以实现无人值守的长期自动驯化,如此可以大大缩减海洋牧场的成本,提高经济效益。目前,根据该装置已申请了实用新型专利^[15]和外观设计专利^[16]。同时,该驯化装置上能进一步添加各种环境监测设备,对区域海洋环境进行立体网络化实时监测等,具有较广泛的应用前景。

参考文献:

- [1] 李波,宋金超. 海洋牧场:未来海洋养殖业的发展出路[J]. 吉林农业,2011(4):3.
- [2] 何大仁. 鱼类行为学[M]. 厦门:厦门大学出版社,1998.
- [3] 朱存良. 鱼类行为生态学研究进展[J]. 北京水产,2007(1):21.
- [4] ZEDDIES D G, FAY R R, SISNEROS J A. Sound Source Localization and Directional Hearing in Fishes [J]. Encyclopedia of Fish Physiology, 2011, 1:298-303.
- [5] RAMCHARITAR J, GANNOND P, et al. Bioacoustics of fishes of the family Sciaenidae (Croakers and Drums) [J]. Transactions of the American Fisheries Society, 2006, 135(5):1409-1431.
- [6] 陈德慧,刘洪生,胡庆松,等. 网箱中黑鲷音响驯化的诱集效果探究[J]. 上海海洋大学学报,2012,21(4):554-560.
- [7] 张国胜,张沛东,陈勇,等. 鲷幼鱼音响驯化的研究[J]. 大连水产学院学报,2002,17(1):48-52.
- [8] KAATZ I M. How Fishes Use Sound: Quiet to Loud and Simple to Complex Signalling [J]. Encyclopedia of Fish Physiology, 2011, 1:684-691.
- [9] 张国胜,傅恩波,许传才,等. 鱼类的听觉特性[C]//中国水产学会学术年会论文集. 北京:海洋出版社,2000:416-417.
- [10] HOLT DANIEL E, JONHSTON CAROL E. Hearing sensitivity in two black bass species using the auditory brainstem response approach [J]. Environment Biology Fishes, 2011, 91:121-126.
- [11] 文洪涛,杨艳明,刘贞文,等. 近海洋浊水的附加声衰减研究[J]. 声学学报,2010,35(1):45-52.
- [12] 程晓波. 304 不锈钢表面锈蚀原因分析[J]. 腐蚀与防护, 2010,31(2):946.
- [13] 黄桂桥,金威贤,侯文泰. 不锈钢在海水中的耐蚀性与腐蚀电位的关系[J]. 中国腐蚀与防学报,2000,20(1):35-40.
- [14] 郑微云,李伦平,薛雄志. 黑鲷视网膜结构与视觉特性研

- 究[J]. 热带海洋,1995,14(2):53-59.
- [15] 胡庆松,章守宇,张磊. 海洋牧场鱼类声音行为控制器:中国,201220091390.4[P]. 2012-10-24.
- [16] 胡庆松,章守宇,张磊. 鱼类声音行为控制装置:中国,201230054964.6[P]. 2012-7-18.

Design and experiment of fish domestication equipment for ocean ranching

ZHANG Lei¹, HU Qing-song¹, ZHANG Shou-yu²

(1. College of Engineering Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The fish domestication at present is mainly operated manually in ocean ranching. Automatic fish domestication is an important technical measure to construct efficient operating mode. A new type of fish domestication equipment is designed according to the fish's sensitivity to sound or light. It involves the function of timing control of sound and light as well as feed supply corresponding with the requirement. A wireless underwater video monitoring and positioning instrument is designed to supervise the domestication effect and realize positioning function. Taking *Sparus macrocephalus* fries as the research object, after 30 days of domestication, *Sparus macrocephalus* fries cluster obviously after starting the sound and light. Experiment results show the domestication effect is prominent and the whole system is designed reasonably. The sound, light, feed supply and energy system work regularly. The system reaches the design requirements which supplies an effective equipment for automatic fish domestication in ocean ranching.

Key words: ocean ranching; fish domestication; the sensitivity to sound; the sensitivity to light