

学校编码: 10384
学号: 22320131151442

密级_____

廈門大學

硕士学位论文

深水网箱鱼群状态与水质环境远程监测
系统研究

Study on Remote Monitoring System for Fish Activity and
Water Quality Environment in Offshore Fish Cage

邵志文

指导教师姓名: 许肖梅 教授
专业名称: 海洋物理
论文提交日期: 2016年5月
论文答辩时间: 2016年5月

2016年5月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘要

在全球海洋渔业资源日益衰减的今天,深水网箱以其抗风浪、耐海流能力强、养殖容量大、高产高效、环保等优势成为现代耕海牧渔的发展方向。深水网箱养殖过程中,由于网箱离岸远,范围广,水体浑浊,不容易观察鱼群活动状态,同时也往往难以把握合适的投饲量,投饵过少将影响鱼类生长健康,过多则增大养殖饲料成本,同时剩余饵料又会污染环境。为了进行鱼群状态监测和避免饲养投喂的随意性和盲目性,急需加强深水网箱鱼群状态与水质环境监测,为正确判断鱼群食欲、科学进行投饲提供重要参考依据。本文根据深水网箱养殖环境的特殊要求,设计并实现了一套结构简单、功耗低、体积小、远程、实时的深水网箱鱼群状态与水质环境监测系统。

主要内容:

1、分析了典型经济鱼类声学散射特性,并深入研究了典型深水网箱养殖环境下噪声、混响干扰特性,进而设计鱼群声学监测的信号形式、工作频率、脉冲宽度、功率大小等相关参数及回波信号识别、提取和处理技术,以便获得有效的鱼群状态信息;

2、针对深水网箱鱼群养殖系统水环境,设计了水温、溶解氧、pH 值等水质参数的获取方法,包括合理选取不同水质传感器,实现准确、简便、快速完成水质环境参数的信息获取;

3、基于鱼群空间分布与鱼类摄食状态,使用高性能、低功耗的 STM32F103ZET6 增强型系列微控制器作为网箱现场数据采集单元的主控制器,完成声信号发射接收电路与水质环境数据采集电路,实现了数据的即采即发功能;

4、采用嵌入式移动设备和无线数据传输相结合方式设计了便携式用户监控终端,提供了简洁友好的人机交互界面,显示深水网箱鱼群量大小、鱼群空间分布、养殖水温、溶解氧、pH 值等水质环境参数信息。基于前期监测经验和渔业养殖人员对水质条件的要求,可以合理设置安全阈值,当出现监测数据异常情况时,能及时示警。

在对各监测模块的可行性与准确性验证的基础上,进行了实验室水池和海上现场的测试。实验结果表明系统能够实时、可靠地完成深水网箱鱼群与水质环境

数据的采集、传送以及显示，而且系统人机界面友好、操作简便、信息显示清晰明确。系统不仅考虑鱼群活动空间分布，而且也兼顾水温、溶解氧、pH 值三项重要水质环境参数的监测，对深水网箱养殖情况的把握更全面到位；系统采用无线数据传输与便携式用户终端相结合方案，克服了电缆长度有限、监控机身庞大、耗电大等问题，大大提高户外监测操作的机动性和灵活性。该系统监测信息可以帮助养殖人员及时了解网箱养殖情况，为喂养决策提供关键参考数据，这对提高饲料利用率，降低养殖成本，减轻环境污染，实现深水网箱鱼群健康高效养殖具有重要意义。

关键词：深水网箱；鱼群声学监测；水质环境监测；便携式终端；远程监控

Abstract

The global marine fishery resources are going downhill nowadays. Fish culturing in offshore fish cage is being the developing trend of marine aquaculture for its advantages of great resistance to wind, waves and strong-flowing currents, large breeding capacity, high yield and high efficiency. However, it is difficult to grasp the appropriate amount of feeding, feeding little would affect the growth of fish, conversely, feeding too much would increase the costs, and the wasted food accumulation in the seabed causes environmental pollution. Moreover, because of offshore and wider fish culturing space, it is hard to observe fish activity. In order to observe fish school activity and avoid inappropriate feeding, it is needed to strengthen the fish school and water quality monitoring, to provide important information helping user breed and manage scientifically. According to the special requirements of offshore aquaculture environment, this paper develops a simple structure, low power consumption, small size monitoring system to real-time monitor fish school activity and water quality in offshore fish cage remotely.

The contents in the paper are as follows:

- 1、Analyses the acoustic scattering characteristics of common economic fish, and deeply studies the characteristics of typical ambient noise and reverberation interference in the offshore fish cage, and then determines the detecting signal parameters, including frequency, pulse width, power and so on, applies the signal processing method to extract target echo from strong interferences.
- 2、Proposes an accurate, simple and rapid method for obtaining the information of the water quality parameters, such as water temperature, dissolved oxygen and pH value.
- 3、Uses STM32F103ZET6 enhanced series microcontroller, which has advantage in high performance and low power consumption, as main controller of the cage field data acquisition unit; Meanwhile, designs the acoustic signal transceiver circuit and water quality data acquisition circuit, allowing detecting data to be delivered

immediately upon acquisition.

4、 Designs the portable user monitoring terminal combining embedded technology and wireless data transmission technology. Develops a concise and friendly human-machine interface what can display the information of fish school quantity and spatial distribution, water temperature, dissolved oxygen and pH value to user. According to the previous experience and fishery breeding requirement of water quality conditions, setting safety threshold reasonably, giving a warning in time under abnormal condition.

The feasibility and accuracy of monitoring modules is verified, and the experiment results in lab sink and sea show that the monitoring system can real-time and reliable complete the fish school and water quality data collecting, transmitting and displaying. Furthermore, the monitoring terminal is user-friendly and easy-to-operate. Both fish activity and water quality are taken into account, making it more comprehensive to obtain the information of cage culture. Moreover, the system overcomes some limitations, such as limited cable length, bulky system, great power consumption and so on, by combining with embedded control technology and wireless data transmission technology, allowing a great deal of flexibility and mobility. The monitored information can help user to learn about the offshore fish cage culture in time, providing critical reference data for feeding decision-making, which has practical significance in improving feed utilization, reducing farming costs, alleviating environmental pollution, and achieving healthy and productive fish culturing in offshore fish cage.

Key words: Offshore fish cage; Fish school acoustic monitoring; Water quality monitoring; Portable user monitoring terminal; Remote monitoring

摘 要.....	I
Abstract.....	III
第一章 绪论.....	1
1.1 引言.....	1
1.2 国内外研究现状.....	4
1.2.1 国外研究进展.....	4
1.2.2 国内研究进展.....	7
1.3 论文主要内容.....	10
第二章 深水网箱监测系统方案设计.....	12
2.1 系统整体框架设计.....	12
2.2 网箱现场数据采集设计方案.....	13
2.2.1 深水网箱监测参数的选取.....	13
2.2.2 主控制器的选取.....	18
2.3 用户层设计.....	20
2.3.1 用户监控层功能概述.....	20
2.3.2 用户监控层模块选择.....	21
第三章 深水网箱鱼群状态声学监测原理与关键技术.....	23
3.1 鱼群声学监测原理.....	23
3.2 海洋环境声学特性对鱼群声监测的影响.....	24
3.2.1 海水对声波的衰减.....	25
3.2.2 海洋环境噪声影响及其抑制方法.....	26
3.2.3 海洋混响影响及其抑制方法.....	29
3.3 声学监测主要技术指标.....	30

3.4 水下收发换能器.....	33
第四章 深水网箱水质环境监测原理与关键技术.....	35
4.1 水质传感器技术介绍.....	35
4.2 温度传感器技术.....	36
4.3 溶解氧传感器技术.....	37
4.4 pH 值传感器技术.....	39
第五章 深水网箱监测系统实现.....	42
5.1 声探测系统.....	42
5.1.1 探测信号发射电路单元.....	43
5.1.2 回波接收预处理电路单元.....	45
5.2 水质环境数据采集.....	49
5.2.1 温度采集单元.....	49
5.2.2 溶解氧与 pH 值采集单元.....	53
5.3 主控制器 STM32F103ZET6.....	54
5.4 用户监测系统数据处理与显示.....	57
第六章 系统实验验证与结果分析.....	60
6.1 监测系统样机.....	60
6.2 监测模块性能测试.....	60
6.3 实验室水池实验.....	62
6.4 海上现场实验.....	64
第七章 总结与展望.....	70
参 考 文 献.....	72
致 谢.....	77

Catalog

Abstrat in Chinese	I
Abstract in English	III
Chapter 1 Introduction	1
1.1 Foreword	1
1.2 Research progress in domestic and overseas	4
1.2.1 Overseas research progress	4
1.2.2 Domestic research progress	7
1.3 Main research contents	10
Chapter 2 Schematic design of monitoring system	12
2.1 Overall design of the system framework	12
2.2 Design scheme of field data acquisition	13
2.2.1 Monitoring parameters selection for offshore fish cage	13
2.2.2 Main controller selection	18
2.3 User monitoring layer design	20
2.3.1 Overview of user manager system	20
2.3.2 User monitoring module selection	21
Chapter 3 Principle and key technology of fish acoustic monitoring for offshore fish cage	23
3.1 Principle of fish acoustic monitoring	23
3.2 Impact of ocean acoustic characteristics on acoustic monitoring	24
3.2.1 Acoustic attenuation of seawater	25
3.2.2 Ambient noise and its inhibition method	26
3.2.3 Reverberation and its inhibition method	29

3.3 Main technical parameters of acoustic monitoring	30
3.4 Underwater transceiver transducer	33
Chapter 4 Principle and key technology of water quality monitoring for offshore fish cage.....	35
4.1 Introduction of water quality sensors	35
4.2 Temperature transducer technology	36
4.3 Dissolved oxygen transducer technology	37
4.4 pH transducer technology	39
Chapter 5 Implementation method of monitoring system	42
5.1 Acoustic detecting system.....	42
5.1.1 Signal transmitting circuit.....	43
5.1.2 Echo receiving circuit	45
5.2 Data acquisition of water quality environment.....	49
5.2.1 Acquisition unit of temperature	49
5.2.2 Acquisition unit of dissolved oxygen and pH.....	53
5.3 Main controller unit STM32F103ZET6.....	54
5.4 Data processing and display in user monitoring system	57
Chapter 6 Experimental results and analysis	60
6.1 Prototype of monitoring system.....	60
6.2 Performance test of monitoring module	60
6.3 Experiment in Lab pool.....	62
6.4 Field test at sea	64
Chapter 7 Summary and forecast	70
References.....	72
Acknowledgements.....	77

第一章 绪论

1.1 引言

海洋鱼类是人类动物蛋白的重要来源，为全球 15 亿人口提供了至少 20% 的动物蛋白^[1-2]。但随着人口的增加，科技的发展，技术的更迭，人们对于大自然的水产品资源需求在不断增加，这种需求直接导致了人们对海洋资源的过度捕捞，对生态环境的破坏。对海洋鱼类自然繁殖的人为干预导致很多鱼类数量骤减，有些很珍贵的鱼种濒临灭绝。仅仅依靠鱼类自我繁衍已经不能满足人类的需求。为了缓解这一问题，国家开始限制捕捞生产，大力发展海水养殖业以减少对大自然的破坏和符合社会对鱼产品的需求量，自 1988 年起我国养殖产量已经超过捕捞产量，到 2014 年养殖与捕捞的产量比为 73:27。

我国海水鱼类养殖主要包括传统网箱养殖和深水网箱养殖。传统网箱分布在水流速度小、水体交换差的半封闭内湾和近岸浅海处，以其结构简单、造价低廉、管理简单等优势，规模不断扩大，但由于网箱数量日趋庞大和高度密集网箱设置方式（如图1-1），使得近海海域长期处于严重超负荷养殖的状态；养殖过程中余留的饵料与排泄物等大量沉积，成为养殖海域新的污染源，不少内湾海域已破坏了生态平衡，导致病害频发，产量下降，效益降低，严重制约了我国海水养殖业的健康可持续发展^[3]。

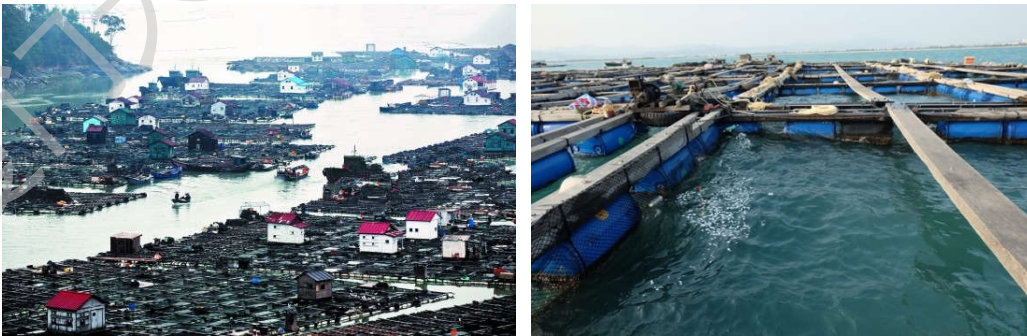


图1-1 传统网箱养殖

Fig. 1-1 Traditional fish cage farms

1998年我国引进第一套深水网箱并进行养殖，将养殖区域从浅海内湾推向更

广阔的外海。大型抗风浪深水网箱养殖应用大容量、生态型、安全、高产、高效的先进养殖模式，相对传统普通网箱养殖方式，具有扩展养殖海域、改善养殖条件、优化网箱结构、扩大养殖容量、缓解环境压力、提高产品质量及其抗风浪能力、提高科技含量、管理规范有序等显著优势^[4]。目前，一个周长43m的高密度聚乙烯（High Density Polyethylene, 简称HDPE）深水网箱的产量是传统海水网箱的40倍，养殖效率提高30% 以上，而且具备抗风12级、抗浪高5 m、耐流1 m/s的高风险抵御能力^[5]，大幅度提高了网箱在外海水域作业的安全性。深水网箱养殖作为一种新的养殖方式，可以与高新技术元素相融合，使我国从低层次的粗放、脆弱型生产的近岸养殖转向多元化科技稳定型的远海养殖，促进渔业平稳、安全、健康和可持续发展^[6]。



图1-2 HDPE圆柱形浮式深水网箱

Fig. 1-2 HDPE cylindrical float offshore fish cage

正是深水网箱养殖的优势所在，深水网箱成为国家重点支持的先进海水养殖方式，是现代耕海牧渔的发展方向^[7]。近年来我国沿海各省市都把发展深水网箱养殖列入渔业发展规划，深水网箱养殖得到了快速发展，我国的深水网箱养殖规模和养殖产量逐年增加（见表 1-1）。到 2013 年底，我国海南省深水网箱养殖规模已达 4030 口，继续成为亚洲最大的深水网箱养殖基地，2014 年全国抗风浪深水网箱养殖水体 605.58 万立方水体，养殖产量 8.87 万吨^[8]。

表 1-1 近年全国深水网箱养殖产量

Table 1-1 Annual production of offshore cage aquaculture

年份	养殖产量 (吨)	比上年增减 (±)	
		增减值	幅度 (%)
2008	35673	-	-
2009	59121	23448	65.73
2010	55517	-3604	-6.10
2011	56190	673	1.21
2012	70974	14784	26.31
2013	73885	2911	4.10
2014	88737	14852	20.10

在深水网箱渔业养殖中, 鱼群的喂养管理是养殖生产中的一个重要环节, 投饵量过少会降低养殖对象的生长速度, 延长养殖周期, 影响产量; 而投饵量过多则会增加饲料成本, 同时残留饵料会造成养殖海域的环境污染。据统计, 饲料成本一般占养殖总成本的 50%~80%, 网箱内丢失的饲料将近总量的 8.26%^[9-12], 养殖管理的一个重要内容就是将饲料成本控制到最低, 既减少饲料浪费, 节省成本, 同时又降低因残饵污染而导致的局部水域环境恶化的可能性。然而当前我国深水网箱鱼群喂养大多只是根据预设的经验值定时或定量投饵, 一般难以精确掌握符合养殖对象需求的最合适投饵量^[13-14]。鱼类对饲料的需求量及其饲料的转换率都与鱼类的生理因素 (如年龄、体型大小、激素水平等)、摄食状态和水质环境条件 (如水温、溶解氧、光强等) 等密切相关, 而海洋环境多样性、多变性和偏僻分散等特点加剧了网箱投饵量的不确定性。因此, 为了精确满足深水网箱鱼群在不同养殖环境下的饲量需求, 急需加强对深水网箱鱼群状态及其水质环境因素的监测研究, 应用鱼群摄食活动和摄食生态的动态变化情况, 指导鱼群喂养决策, 提高投饵的科学性, 避免欠投、过投现象, 在最大程度降低饲养成本并保护养殖水域环境的同时, 保证鱼群的正常生长^[15]。

深水网箱养殖水体多为 1300m³ 以上, 一般布置在离岸 2~5km, 15~50m 深度海域^[16-19]。若采用人工现场直接观察监测方式, 需要人员频繁前往海上现场, 工作强度大, 成本高; 鱼群活动范围大, 水质悬浮物多, 水质浑浊, 人工观察难以全面掌握水下鱼群摄食状态; 而且依赖人工观察和个人经验判断, 易受人主观

性影响，偏差较大，不能适应现代集约化养殖的需求。因此，要进一步提高深水网箱养殖效益，发挥好深水网箱的优势，研制网箱鱼群养殖监测装备是深水网箱养殖发展所急需的。

1.2 国内外研究现状

国内外许多院校与研究机构对深水网箱养殖监测技术进行了深入研究，其中针对鱼群活动状态监测主要采用光学和声学两种方式^[20-21]，如麻省理工学院和 Woods Hole 海洋研究所，美国新罕布什尔大学光学声学相结合的远程鱼群活动监测^[22-24]；日本东京大学的高分辨率双频辨别声纳对鱼群尾数和体长的研究^[25]；厦门大学的多波束水声鱼群安全状态监测^[21]等。光学监控是采用水下电视技术，通过摄像头采集图像，然后将信号传输到显示器上观察。声学监控则是采用声纳技术，通过声波进行探测，将回波信号转换成数字或图像信号，用于判断所监测的状况。光学具有直观、技术嫁接成熟等优点，但对水域的透明度要求高，夜间或光线较弱的海域监测时需要辅助光源，这不仅增加功耗，还会影响鱼类的生长，而且光波在水中的受到强烈的吸收衰减，探测距离很有限，即使在清澈的海水中，也只能达到十几米到几十米；声学监控效果虽然不如光学监控效果直观，但不受水质条件的限制，探测距离远。

目前评估网箱鱼类喂养情况除了通过水下摄像或声学传感器监测剩余饵料流失情况、鱼类的摄食活动外，也逐渐开始兼顾网箱养殖环境条件因素。

1.2.1 国外研究进展

美国 BioSonics 从 1997 到 2001 年进行鱼群养殖饵料的声纳监控系统的项目研发，旨在通过监测饵料流失状态把握鱼群喂养情况，并指导饵料投放。如图 1-3 (a) 所示，监控系统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，养殖人员可以通过声纳屏幕来调控投饵过程，以达到最合理的投放量。该系统采用 BioSonics 201kHz 和 420kHz 分裂波束数字回声探测器，可监测饵料颗粒的尺寸为 3~12mm。当网箱内无鱼群或鱼群密度很低时，可以探测并跟踪到单个饵料颗

粒,但当鱼群密度过大,鱼群富集于底部时,系统则很难区分饵料和鱼群信号^[26-27],如图 1-3 (b)。

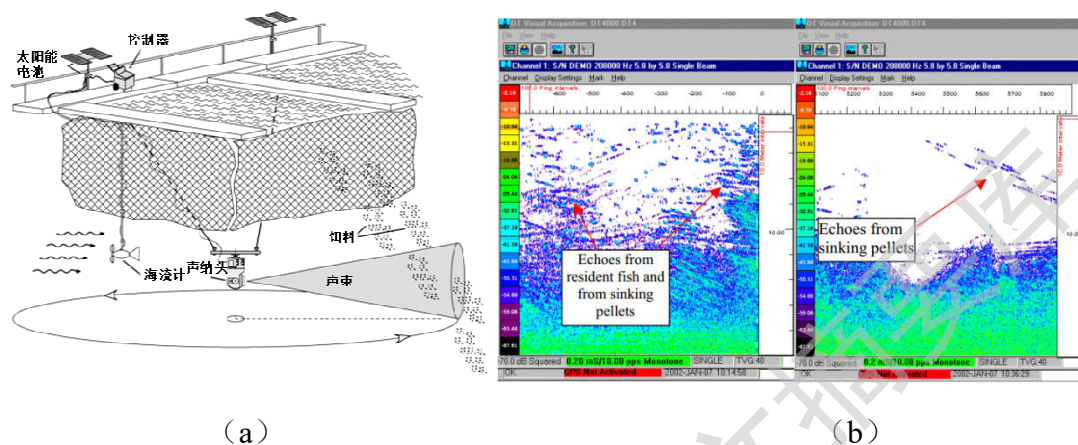


图 1-3 网箱鱼群喂养过程声学监视示意图 (a) 和回波图 (b)

Fig. 1-3 Schematic of fish feeding process monitor in a fish farm cage (a) and echogram (b)

鱼类对饲料的摄入量及其饲料的转化率随着鱼类的活动状态、水质环境的变化而变化,因此用于把握鱼类摄食情况的监测内容从残余饵料颗粒剩余情况、鱼群摄食行为到水环境条件均有涉及,美国 OAA 计划研究的漂浮式大容量投饵系统甚至已经将现场天气条件的监测结果也结合到了投饵自动控制参数中^[14]。监测与反馈系统正朝着多参数、智能化方向发展。

西班牙瓦伦西亚理工大学 2010 年提出的海洋网箱养殖中鱼群喂养监控系统综合考虑了鱼群摄食行为和水环境因子,设计了一全方位的海洋渔场传感器网络监控方案。该系统主要包含网箱内温度传感器、溶解氧传感器、位移速度传感器、生物量分布传感器、颗粒物监测传感器以及网箱外围捕食生物探测和水流监测等一些辅助传感器,图 1-4 所示为传感器网络在海洋网箱的布置图。在多传感器数据采集基础上,采用数据融合技术,准确掌握鱼群摄食情况,为鱼群饲料投放速度提供最优决策。在海鲷和欧洲鲈的养殖试验中均证实了通过网箱监测结果指导养殖工作,可以能使累积在海底的颗粒物得到显著改善,饵料的利用率有了很大的提高^[28]。

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.