

作品编号：35791

“第九届全国海洋航行器设计与制作大赛
暨中船杯海洋装备创新赛”

参赛作品说明书

作品名称：以网衣清洗机器人为核心的网衣监测、清洗系统

单位名称：中国海洋大学

参赛者姓名：杨宇腾、李澳阳、宋奕聪、王浩男、王炳烨、
张昊、杨澍、李博林

类别：

T 前沿科技与产业发展挑战

“第九届全国海洋航行器设计与制作大赛暨中船杯海洋装备创
新赛”组委会制

2020-5-20

关于参赛作品说明书使用授权的说明

本人完全了解“第九届全国海洋航行器设计与制作大赛暨央企海洋装备创新赛”关于保留、使用参赛作品说明书的规定，即：参赛作品著作权归参赛者本人，比赛组委会可以在相关主页上收录并公开参赛作品的设计方案、技术报告以及参赛作品的视频、图像资料，并将相关内容编纂收录在组委会出版论文集中。如作品有核心保密部分，请向组委会另行说明，将不公开。

参赛队员签名： 杨宇腾

宋奕慈

李澳阳

王浩男

孙杨輝

李博林

张昊

杨澍

带队教师签名： 周丽卉

周丽卉

日 期： 20200718

保密承诺书

项目参与者共同承诺：本申报书《以网衣清洗机器人为核心的网衣监测、清洗系统》所有内容均不涉及国家秘密，也无敏感内容，若造成失泄密，由本项目申请人承担全部责任。

项目申请人签字： 

2020 年 7 月 18 日

作品简介

作品名称	以网衣清洗机器人为核心的网衣监测、清洗系统																																									
主要功能	<p>①在附着物附着初期自主、高频率清洗网衣，有效预防附着物的生长，保持网衣上无附着物。</p> <p>②通过定期巡航，监测网衣的状态与附着情况。</p> <p>③不作业时机器人在水下长期停靠并自主充电，实现能源自给。</p> <p>④在远程观看作业直播，专家和领导可以实时对作业过程和网衣状况进行指导与讨论。</p> <p>⑤收集每一次监测、清洗的数据并将自动生成的表格、数据分析图、附着物截图呈现给用户，用以规划本海域近期网衣清洗和养殖的计划。</p>																																									
创新点	<p>①提出了预防式清洗的方法，通过在附着物附着初期实时清洗，解决了空化射流法先附着后清洗、需打捞网衣的问题，达到了预防网衣被附着、保持网衣常态清洁的效果。</p> <p>②开发了基于远程监控平台的直播式交互系统，解决了传统先操作后汇报方式反馈慢的问题，提供了远程观看作业直播的条件，实现了专家的实时讨论与指导。</p> <p>③提出了一种图像处理与数据分析相互补充的信息处理模式，解决了传统方式依靠经验对网衣状态推测不准确的问题，实现了自主获取作业与网衣状态并分析。</p> <p>④提出了一种水下常驻基站和太阳能基站相互补充的自给式能源供给模式，解决了传统设备需充电或更换电池的问题，使系统可以能源自给、长期稳定运行。</p>																																									
国内外水平对比	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;">总述</td><td colspan="2" style="padding: 5px;">本产品竞品主要为国内空化射流设备和挪威爬网清洗机器人，由于清洗频率较低，清洗前已形成较顽固附着；而本产品可在附着物附着初期自主高频率清洗以预防其生长。</td></tr> <tr> <td style="padding: 5px;">功能</td><td style="padding: 5px;">国内</td><td style="padding: 5px;">人工捞网+岸上清洗，不能监测</td></tr> <tr> <td></td><td style="padding: 5px;">挪威</td><td style="padding: 5px;">定期清洗，不能监测，只能爬网运动</td></tr> <tr> <td></td><td style="padding: 5px;">本项目</td><td style="padding: 5px;">自主充电+实时清洗+监测→远程监控+图像处理+数据分析</td></tr> <tr> <td style="padding: 5px;">清洗速度与频率</td><td style="padding: 5px;">国内</td><td style="padding: 5px;">限于作业前需捞网，3-4个月清洗一次；清洗速度约 100m²/h</td></tr> <tr> <td></td><td style="padding: 5px;">挪威</td><td style="padding: 5px;">限于成本、人工操作，约 2 个月清洗一次；清洗速度约 0.1m/s</td></tr> <tr> <td></td><td style="padding: 5px;">本项目</td><td style="padding: 5px;">最快每 160min 清洗 400m² 网衣；清洗速度 0.2m/s</td></tr> <tr> <td style="padding: 5px;">功率</td><td style="padding: 5px;">国内</td><td style="padding: 5px;">10KW 电机或 13 马力柴油机</td></tr> <tr> <td></td><td style="padding: 5px;">挪威</td><td style="padding: 5px;">800W</td></tr> <tr> <td></td><td style="padding: 5px;">本项目</td><td style="padding: 5px;">310W</td></tr> <tr> <td style="padding: 5px;">价格</td><td style="padding: 5px;">国内</td><td style="padding: 5px;">至少 15 万设备费+8 万换网+5 人人工+每次换网死亡 5000 元的鱼</td></tr> <tr> <td></td><td style="padding: 5px;">挪威</td><td style="padding: 5px;">40 万以上</td></tr> <tr> <td></td><td style="padding: 5px;">本项目</td><td style="padding: 5px;">12 万</td></tr> </table>			总述	本产品竞品主要为国内空化射流设备和挪威爬网清洗机器人，由于清洗频率较低，清洗前已形成较顽固附着；而本产品可在附着物附着初期自主高频率清洗以预防其生长。		功能	国内	人工捞网+岸上清洗，不能监测		挪威	定期清洗，不能监测，只能爬网运动		本项目	自主充电+实时清洗+监测→远程监控+图像处理+数据分析	清洗速度与频率	国内	限于作业前需捞网，3-4个月清洗一次；清洗速度约 100m ² /h		挪威	限于成本、人工操作，约 2 个月清洗一次；清洗速度约 0.1m/s		本项目	最快每 160min 清洗 400m ² 网衣；清洗速度 0.2m/s	功率	国内	10KW 电机或 13 马力柴油机		挪威	800W		本项目	310W	价格	国内	至少 15 万设备费+8 万换网+5 人人工+每次换网死亡 5000 元的鱼		挪威	40 万以上		本项目	12 万
总述	本产品竞品主要为国内空化射流设备和挪威爬网清洗机器人，由于清洗频率较低，清洗前已形成较顽固附着；而本产品可在附着物附着初期自主高频率清洗以预防其生长。																																									
功能	国内	人工捞网+岸上清洗，不能监测																																								
	挪威	定期清洗，不能监测，只能爬网运动																																								
	本项目	自主充电+实时清洗+监测→远程监控+图像处理+数据分析																																								
清洗速度与频率	国内	限于作业前需捞网，3-4个月清洗一次；清洗速度约 100m ² /h																																								
	挪威	限于成本、人工操作，约 2 个月清洗一次；清洗速度约 0.1m/s																																								
	本项目	最快每 160min 清洗 400m ² 网衣；清洗速度 0.2m/s																																								
功率	国内	10KW 电机或 13 马力柴油机																																								
	挪威	800W																																								
	本项目	310W																																								
价格	国内	至少 15 万设备费+8 万换网+5 人人工+每次换网死亡 5000 元的鱼																																								
	挪威	40 万以上																																								
	本项目	12 万																																								
应用前景	<p>①本产品适用于近海深水网箱，目前近海深水网箱养殖规模大且尚有发展空间，全国总面积超过 2000 万 m³，预估全国网衣清洗市场总额为 30 亿元以上。</p> <p>②运用五种营销方法，立足山东辐射全国，实现对市场的渗透、开拓、占领、稳定。预计 4 年内卖出 205 套系统，盈利 17338695 元。</p>																																									
其他	团队目前共 8 人，来自 6 个专业，在分工开展研究同时协调性较好，正在考虑邀请商业、财务、法律专业同学进入队伍，进驻海大孵化基地共同完成项目的产业化发展。																																									

目 录

1 背景介绍与项目的提出.....	1
1.1 综述.....	1
1.1.1 调研对象与方式.....	1
1.1.2 调研内容概况.....	1
1.2 我国水产养殖、近海深水网箱养殖概况.....	1
1.3 由网衣附着物引发的网箱养殖难题.....	2
1.3.1 网衣清洗方面.....	2
1.3.2 网衣监测方面.....	2
1.4 目前国内网衣清洗方法概述.....	2
1.4.1 人工清洗.....	2
1.4.2 涂防附着漆.....	3
1.4.3 高压水枪或空化射流清洗.....	3
1.5 目前国内网衣监测方法概述.....	4
1.6 本项目的提出.....	5
2 产品技术方案.....	7
2.1 综述.....	7
2.2 系统的工作方式.....	8
2.3 核心设备——水下网衣清洗机器人、手柄.....	9
2.3.1 机器人整体结构与外形的设计.....	9
2.3.2 机器人重心调节舱.....	12
2.3.3 机器人矢量螺旋桨.....	14
2.3.4 机器人摄像头舱与摄像头.....	15
2.3.5 贴网雪橇与整体外形设计.....	16
2.3.6 清洗模块的设计.....	17
2.3.7 机器人下位机控制方案的设计.....	17
2.3.8 手柄.....	19
2.4 能源基站——水下常驻基站、太阳能基站.....	20
2.4.1 水下常驻基站.....	20
2.4.2 太阳能基站.....	21
2.5 扩展软件——远程监控平台、图像处理系统与数据分析系统.....	22
2.5.1 综述.....	22

2.5.2 远程监控平台.....	22
2.5.3 图像处理系统.....	24
2.5.4 数据分析系统.....	27
2.6 通信方案.....	29
2.7 静力学与运动学分析.....	30
2.7.1 耐压仓静力学分析.....	30
2.7.2 网衣清洗机器人水阻力分析.....	32
2.7.3 清洗附着物时机器人贴网推力计算.....	34
2.7.4 4. ROV 重心调节分析.....	35
2.7.5 毛刷转动对机器人运动的影响.....	36
2.8 基于原理的能耗分析.....	36
2.8.1 设定假想场景.....	36
2.8.2 对比分析.....	36
2.9 系统的创新点.....	38
2.9.1 预防式清洗的方法.....	38
2.9.2 基于远程监控平台的直播式交互系统.....	39
2.9.3 图像处理与数据分析相互补充的信息处理模式.....	40
2.9.4 自给式的能源供给模式.....	40
2.10 后续新产品研发思路.....	41
2.10.1 继续对浅海深水网箱养殖进行市场、应用方面调研并进行产品试验	41
2.10.2 对网衣清洗机器人的“模块化”改进与推出新版本.....	42
2.10.3 提出新的远程监控、控制方式.....	43
2.10.4 研发新的扩展软件.....	43
2.11 系统耗材的统计.....	43
3 商业计划与盈利分析.....	47
3.1 市场定位.....	47
3.2 近海深水网箱的市场规模.....	47
3.3 企业发展.....	47
3.3.1 企业概述.....	47
3.3.2 对于市场的开发策略.....	48
3.3.3 企业发展与经营战略.....	49
3.4 销售、营销的方式与计划.....	50
3.4.1 综述.....	50
3.4.2 “核心设备+能源基站+扩展软件”的销售模式.....	51
3.4.3 “新技术尝新+服务多样化”的营销策略.....	51

3.4.4 加强与网衣、网箱生产公司的合作.....	52
3.4.5 加强与目标市场的沟通、联系.....	52
3.4.6 与高校展开技术合作.....	52
3.5 产品成本的计算.....	53
3.6 产品价格、利润预期.....	53
3.6.1 产品的定价.....	53
3.6.2 2. 产品预计销量与净利润.....	54
4 优劣势对比分析与解决方案.....	55
4.1 综述.....	55
4.2 国内目前清洗方式与各自优劣势.....	55
4.3 挪威爬网清洗机器人在中国市场的困境.....	56
4.4 本项目与国内清洗方式的对比和与挪威爬网清洗机器人的对比.....	58
4.4.1 本团队研发的项目总述.....	58
4.4.2 本团队项目与国内清洗方式的对比.....	58
4.4.3 本团队所研发项目的清洗方式与挪威爬网清洗机器人的对比.....	61
5 团队成员介绍及具体分工.....	63
6 结语.....	66
参考文献.....	67

1 背景介绍与项目的提出

1.1 综述

1.1.1 调研对象与方式

选择以一对一访谈为主、实地观察兼二手资料调研法为辅的调研方案。项目背景部分调研对象与方式主要包括：

- ①咨询北京、青岛 3 家空化射流清洗设备公司相关负责人；
- ②咨询青岛 3 家水下机器人公司相关负责人；
- ③咨询或实地走访广东、海南、威海、青岛 7 家养殖公司、网衣制造公司相关负责人与一些养殖户；
- ④咨询中国海洋大学水产学院、工程学院相关专家教授；
- ⑤网上查阅相关资料。

1.1.2 调研内容概况

- ①目前中国地区网衣清洗的市场概况；
- ②目前中国地区网衣的价格；
- ③目前国外网衣清洗的设备、方法；
- ④目前中国地区网箱养殖公司运营模式、养殖方式；
- ⑤目前中国地区网箱养殖分布区域；
- ⑥目前中国地区网衣制作过程与网衣特性；
- ⑦目前中国地区网衣清洗过程中的“痛点”。

1.2 我国水产养殖、近海深水网箱养殖概况

2019 年度我国海洋渔业实现恢复性增长，养捕结构持续优化。水产品产业总量达到了 6480.20 万吨。其中，海水产品产量达到 3282.50 万吨，占到水产品产业总量 50.6%。

近海深水网箱养殖是水产养殖可持续发展的重要内容。近海深水网箱水体大，更接近于自然环境，鱼类活动范围广、成活率高。在深水环境中，鱼类生长快、病害少、体形和肉质也更接近野生状态。其具有捕捞、鱼塘圈养所不具备的**投资少、产量高、鱼肉味道好、见效快**的特点。

目前近海深水网箱养殖全国水体超过 2000 万 m³，仅海南年盈利就已超过 50 亿元，山东、福建等省份也相继出台政策，扶持产业的发展。

近海深水 HDPE 网箱如图 1-1、图 1-2 所示。

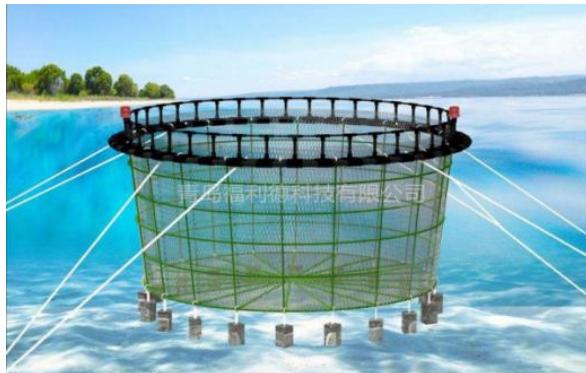


图 1-1



图 1-2

1.3 由网衣附着物引发的网箱养殖难题

1.3.1 网衣清洗方面

网箱的网衣在海水中长期浸泡，容易被藻类、贝类大面积附着，堵塞网孔。长期不清洗则会造成氧气、有机物等生命资源交换不畅，进而导致鱼类大面积死亡。

1.3.2 网衣监测方面

网衣因鱼类冲撞、附着物重力原因造成较小破损后若无法及时发现并安排人员修补，会在短时间内扩展为较大面积的破损，造成鱼类逃逸，进而影响网箱养殖经济效益。

此外，不对网衣进行定期监测，养殖公司就不能了解网箱内鱼的生长情况和网衣附着情况，进而无法对养殖、网衣清洗、网衣使用作出规划，增加了养殖的风险性。

1.4 目前国内网衣清洗方法概述

目前国内主要应用的清洗方法有人工清洗、涂防附着漆、高压水枪或空化射流清洗。

1.4.1 人工清洗

清洗流程为：准备两个网衣（近海深水网箱网衣约 7-8 万元/个）轮换使用，清洗时先通过浮漂和起重机安装上备用网衣，再把已经被附着物附着的网衣拆下，通过暴晒、敲打的方法去除附着物。

单次需至少 10 人操作共同花费约 4h 才能清洗完一个网箱的网衣，耗费大量人力物力。由于清洗时需要换网，故清洗频率约为 3-4 月一次。每次清洗前换网会

造成大约价值 5000 元的鱼死亡。且在清洗间隔中附着物已经造成堵塞，导致一部分鱼类死亡，目前只有少部分公司在使用此方法。

更换网衣过程如图 1-3 所示。



图 1-3

1.4.2 涂防附着漆

防附着漆要在网衣下水前涂抹到网衣上。目前国际上此种技术尚不成熟，大部分还处于实验室阶段，且具有效果不明显、有污染、效果随时间推移逐渐减弱、涂漆后不能清洗网衣的缺点。国内基本没有养殖公司采用此方案。国内某公司研制的防附着漆如所示。

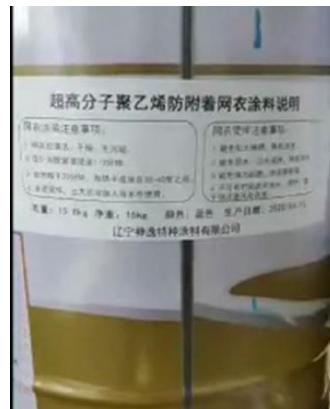


图 1-4

1.4.3 高压水枪或空化射流清洗

国内外研发的空化射流洗网机、转盘洗网机等设备，如青岛炬荣公司的小型（如图 1-5）、大型空化射流洗网机（如图 1-6），中国海洋大学宋协法教授团队研制的转盘洗网机（如图 1-7）等。目前约 80%以上网箱养殖公司采用此方法清洗网衣。

清洗流程为：准备两个网衣（近海深水网箱网衣约 7-8 万元/个）轮换使用，清洗时首先通过浮漂和起重机安装上备用网衣，再把已经被附着物附着的网衣拆下，洗网机通过空化射流、高压水的方式清洗。

由于清洗时需要换网，故清洗频率约为**3-4**月一次。每次清洗前换网会造成大约价值5000元的鱼死亡，且在清洗间隔中已经有部分鱼因为网孔堵塞无法获取养料而死亡。每次清洗需人工5人以上，设备功率较高，作业时需工作船配合，造成不必要的人员成本、经济效益损失，造成如图1-8的恶性循环。



图 1-5



图 1-6

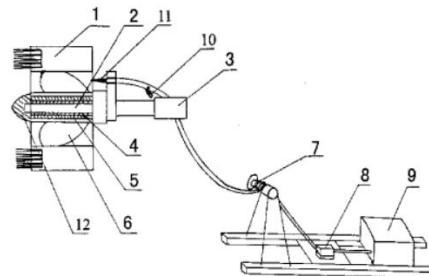


图 1-7



图 1-8

1.5 目前国内网衣监测方法概述

目前国内没有成熟方法以监测网衣的使用情况。

目前国内网衣监测方法如表1-1。

表 1-1

网衣监测方法	代表公司	实际应用情况	存在的问题	目前解决方案与存在的问题
在网衣上安装水下摄像机定点观测	青岛罗博飞	水下光线较暗	摄像头视距较短、视角较窄 (如图1-10)	安装较多摄像头 成本较高
		网箱内水质浑浊		
		摄像机需在网衣下水前固定在网衣上	无法水下维修、更换	无解决方案。维修或更换需等下次换网

以上缺点使得水下摄像机在网衣监测中应用前景有限，目前用户较少。此外，绝大部分网箱养殖公司无法负担聘请潜水员定期下潜检查网衣的高昂费用。

青岛罗博飞公司开发的专用于网箱养殖观测的水下摄像机如图 1-9，摄像机实拍画面如图 1-10。由图 1-10 可知，水下摄像机视距较短、视角较窄。



图 1-9



图 1-10

1.6 本项目的提出

通过询问水产养殖专家和调查，团队了解到：网衣上的附着物藻类、贝类在生长初期，其生物形态分别为柔弱绒毛状与透明薄膜状，附着能力都极差，较容易被清除。

基于现有设备暴露出的缺点及藻类、贝类生长的生物特性，本团队研发了以网衣清洗机器人为核心的网衣监测、清洗系统。系统可以在附着物附着初期自主、高频率清洗网衣，兼具定期巡航监测功能，可有效预防附着物的生长并让养殖公司定期了解网衣使用情况。

系统由核心设备、能源基站、扩展软件组成。

网衣清洗机器人拥有监测、清洗两种模式，采用自主航行、手柄控制的控制方式；

系统采用机器人工作+远程监控的作业方式，水下常驻基站、太阳能基站共同完成机器人的水下长期停靠与自主充电；

运用远程监控平台、图像识别系统和数据分析系统，收集每一次监测、清洗的数据并记录、分析、表达，用户可以总结历次数据，规划本海域近期网衣清洗和养殖的计划。

整体系统形成监测、清洗的良性循环（如图 1-11），显著降低成本、人力投入、能源消耗等，减小养殖风险并增加经济效益。

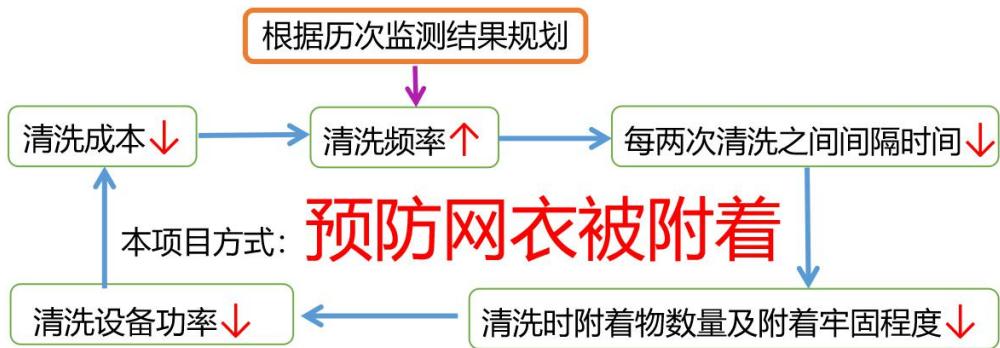


图 1-11

关键词：网箱养殖、水产养殖、网衣清洗、藻类贝类附着

2 产品技术方案

2.1 综述

本团队设计了一款以网衣清洗机器人为核心的网衣监测、清洗系统。整个系统由核心设备、能源基站、扩展软件三部分组成。

系统组成与各部分功能如表 2-1。

表 2-1

部分名称	组成部分	功能
核心设备	网衣清洗机器人 手柄	①监测网衣 ②清洗网衣
能源基站	水下常驻基站 太阳能基站	①机器人水下长期停靠 ②机器人水下自主充电
扩展软件	远程监控平台 图像处理系统 数据分析系统	①远程监控机器人作业 ②对附着物识别、面积计算与截图保存 ③对所有数据的记录与分析

整体系统功能如下：

- ①在附着物附着初期自主、高频率清洗网衣，有效预防附着物的生长，保持网衣上无附着物。
- ②通过定期巡航，监测网衣的状态与附着情况。
- ③不作业时机器人在水下长期停靠并自主充电，实现能源自给。
- ④在远程观看作业直播，专家和领导可以实时对作业过程和网衣状况进行指导与讨论。
- ⑤收集每一次监测、清洗的数据并将自动生成的表格、数据分析图、附着物截图呈现给用户，用以规划本海域近期网衣清洗和养殖的计划。

团队提出的整套系统，实现了常驻充电+人工/自主路径规划作业的机器人创新运转模式、手柄+远程监控平台+图像处理系统+数据分析系统的系统创新交互模式、重心调节舱+矢量螺旋桨的机器人创新姿态转变与保持方法、“预防网衣被附着”的创新清洗思路。有效解决了现有网衣清洗机能耗高、需人工下水操作，现有水下机器人运输繁琐、必须人工现场操作、需额外充电、无法远程观看指导、无法自动记录分析数据的缺点，提升渔业自动化水平，在近海深水网箱养殖中具有较好的应用前景。

系统组成如图 2-1。

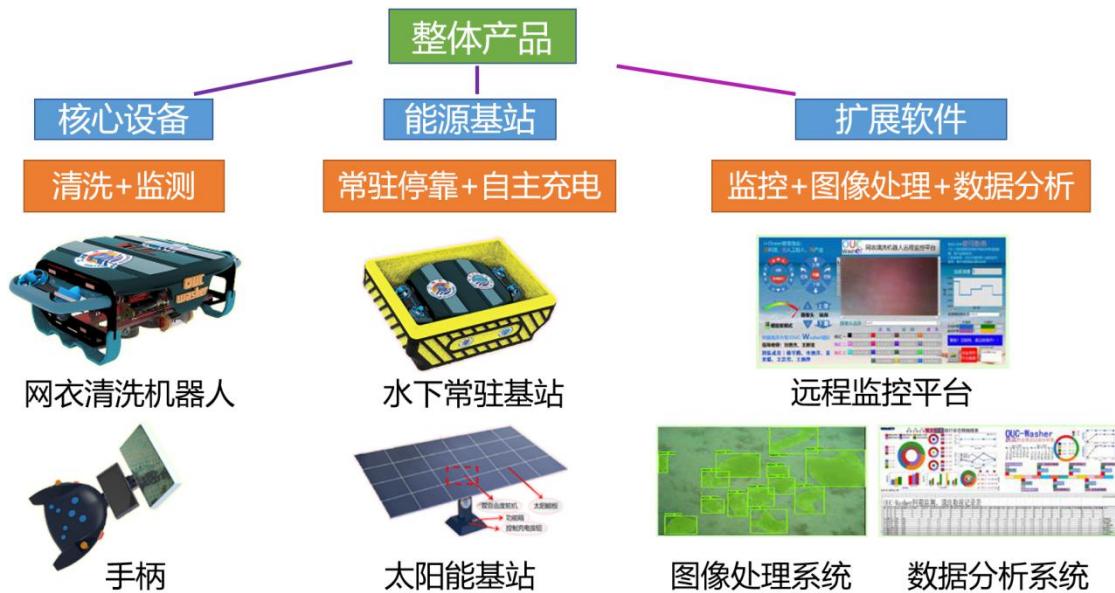


图 2-1

2.2 系统的工作方式

网衣清洗机器人在网箱内部运动，具有巡航、清洗两种模式，通过矢量螺旋桨、重心调节舱共同调节与维持姿态。巡航模式时主要依靠摄像头观察网衣及网箱内部进行监测；清洗模式时机器人旋转 90°，贴网航行，利用毛刷清洗网衣。

作业时，船上作业人员手持控制手柄操作机器人(或选择机器人自主航行)，机器人从水下常驻基站中出来进行作业，同时通过太阳能基站中的无线网桥、无线串口实时将机器人运动姿态、图像传输到远程控制中心，远程控制中心工作人员通过远程监控平台实时监控机器人运动姿态、图像，**图像处理系统**自动识别附着物种类、计算附着物面积。

结束作业后机器人回到水下常驻基站，同时远程控制平台、图像处理系统可将作业数据和附着物种类、个数、面积、截图自动记录到 Excel 和文件夹中永久保存，然后通过**数据分析系统**自动分析当次、历次数据，生成两张可视化分析图。

不作业时，机器人长期停靠在水下常驻基站中，并通过太阳能基站补充电量。

系统工作方式如图 2-2、图 2-3。

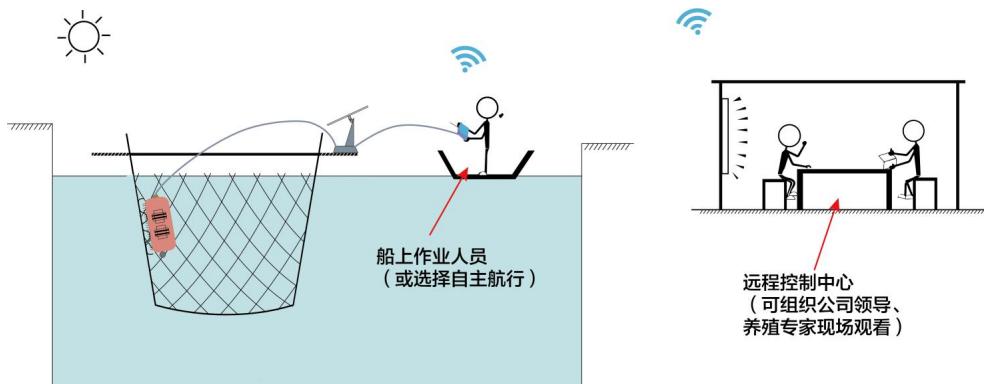


图 2-2

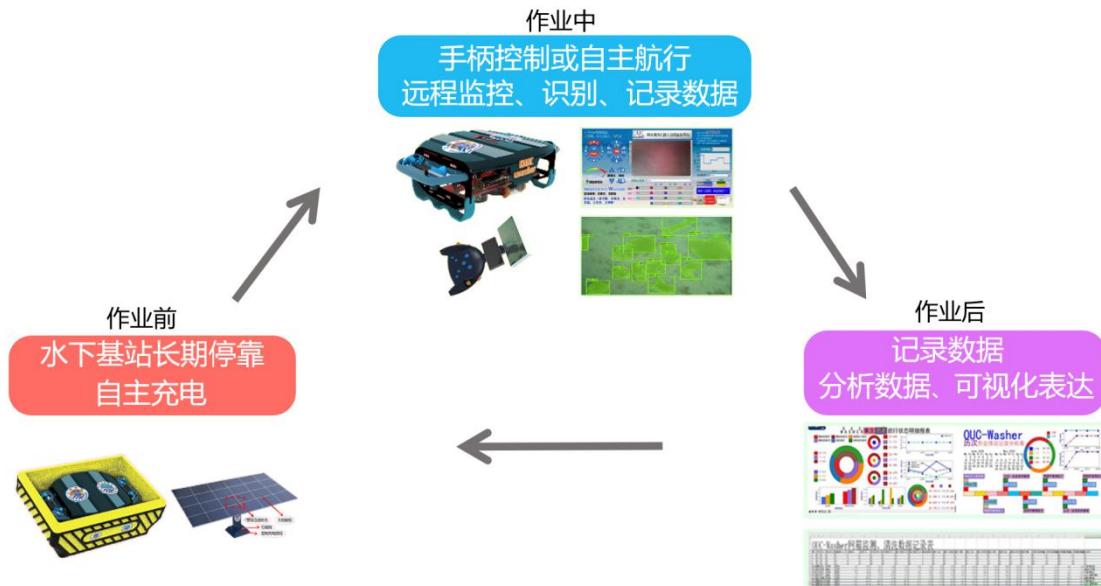


图 2-3

2.3 核心设备——水下网衣清洗机器人、手柄

2.3.1 机器人整体结构与外形的设计

网衣清洗机器人为开架式 ROV，机械结构由框架（包括上下水平板、左右侧板）、主控制与电池舱、矢量螺旋桨系统（两个，包括螺旋桨、舵机及连接件）、水平推螺旋桨、重心调节仓（两个）、毛刷系统（四个，包括毛刷、电机及连接件）、摄像头舱、贴网雪橇、水下灯及连接件等组成。

为防止清洗时刷蹭到网衣，整体设计圆润、无突出尖锐部件，最大程度减小可能对网衣造成的伤害。

整体渲染图如图 2-4、图 2-5、图 2-6 所示，内部结构图（不带外层浮体材料）如图 2-7、图 2-8 所示，结构的爆炸图如图 2-9 所示。



图 2-4



图 2-5



图 2-6

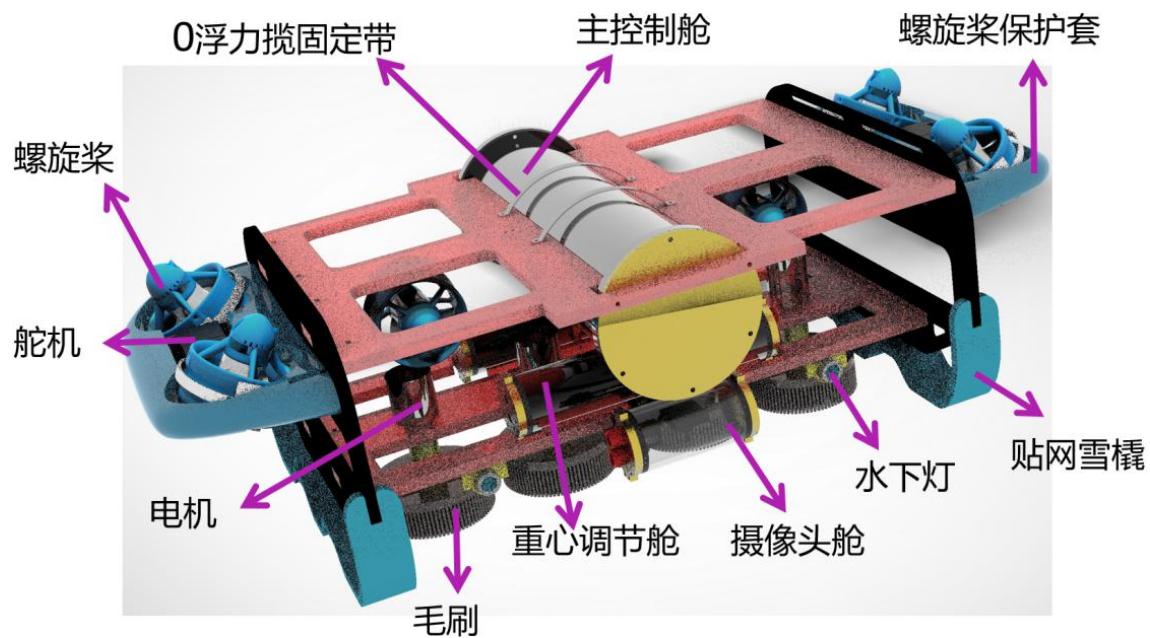


图 2-7

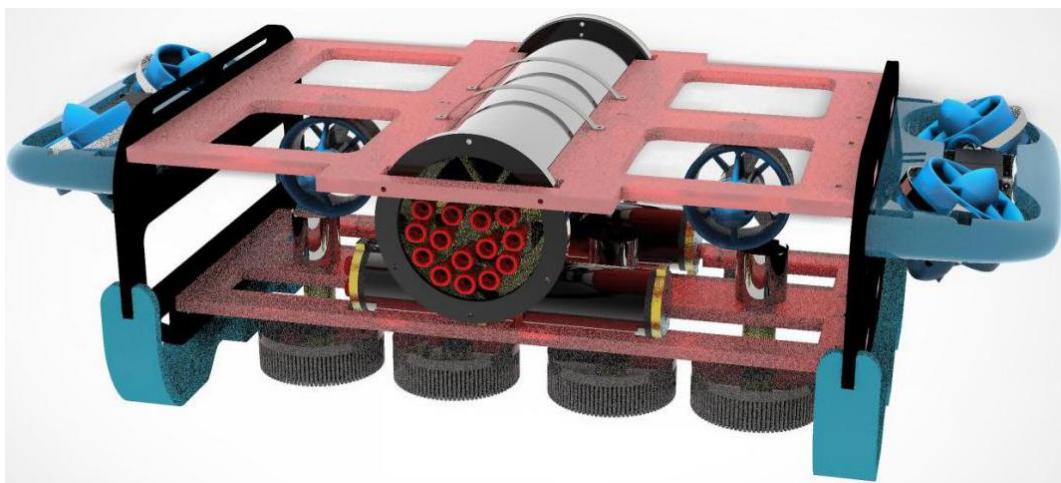


图 2-8



图 2-9

2.3.2 机器人重心调节舱

进行清洗操作时水下机器人需要长时间处于与水平面成 90° 的姿态，因此前后放置两个重心调节舱来配合螺旋桨调节并保持此姿态。主要结构为：定制半圆柱铜块和丝杆电机。

在巡航模式下，铜块位于中间位置，机器人处于与水平面夹角 0° 的位置。在从巡航模式转换为清洗模式时，半圆柱铜块在丝杆电机和止推杆的作用下，发生平移运动，使得重心向左下（或右下）偏移（如图 2-11、图 2-12）。经计算，半圆柱铜块可在 7 秒内完成移动，进而使机器人转动 38° 并保持。再通过推进器调节，使其与水平面夹角达到 90° 。

传统水下机器人与本项目水下机器人姿态转变对比如表 2-2。

表 2-2

水下机器人作业特点		需要进行长时间姿态转换
机器人对比	传统水下机器人	本项目水下机器人
重浮心布置位置	重心与浮心位置重合	重心位于浮心之下
姿态调节与保持方法	仅依靠螺旋桨	重心调节舱+矢量螺旋桨
使用领域简介	①表演、水下拍摄等（如 FiFish）。 ②需进行连续、表演级姿态转变，作业环境海流较稳定	①网衣清洗，作业环境可能有突变海流。 ②需长时间以固定姿态（与水平面呈 90°）贴网清洗，不需要进行连续、表演级的姿态转变。
优势	姿态转变更灵活	①遇到突变海流后，旋转后保持与水平面呈 38° 位置，减小操控难度与不安全性 ②采用矢量螺旋桨，在机器人贴网时持续开启，增加贴网牢固程度与运动的灵活性
劣势	①遇到突变来流时机器人丧失稳定性 ②遇到突变海流后，旋转后角度不定，增加操控难度与不安全性	进行连续、表演级的姿态转变时不如传统水下机器人灵活

重心调节舱内部结构如图 2-10。重心调节示意图如图 2-11、图 2-12，重物块用红色标出，只保留下水平板上相关机械结构，其他结构用长方体红框代替。

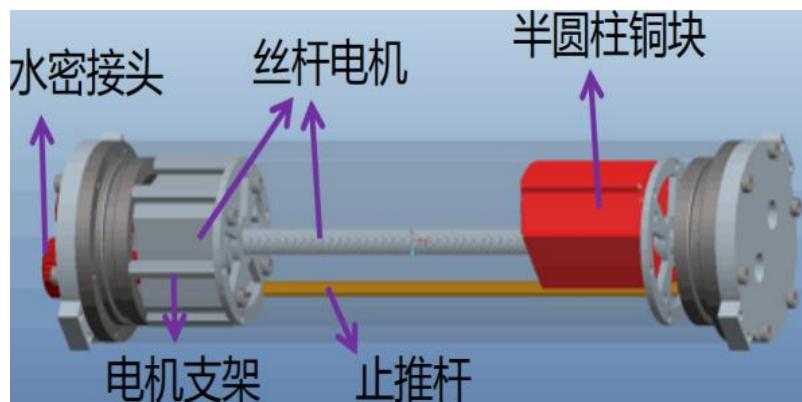


图 2-10

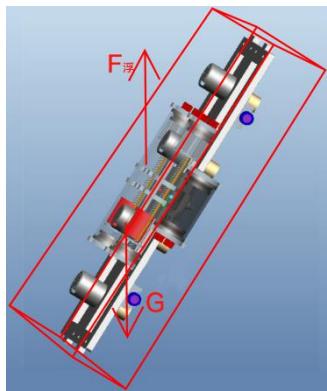


图 2-11

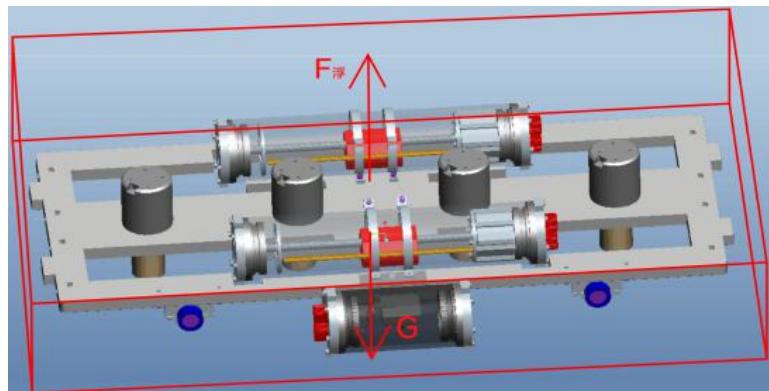


图 2-12

2.3.3 机器人矢量螺旋桨

本项目水下机器人采用 6 个推进器提供推力，其中竖直方向四个螺旋桨为矢量螺旋桨。

矢量螺旋桨能够旋转至其中心轴与水平面成 0° 、 30° 、 60° 三个档位，通过改变螺旋桨推力方向使机器人具有 **6 个自由度**，可绕 x、y、z 轴平动和转动（如图 2-13）。

经计算，使用矢量螺旋桨能灵活减少因螺旋桨推力相互抵消而造成的**最多约 20% 的能耗损失**。

矢量螺旋桨如图 2-14。

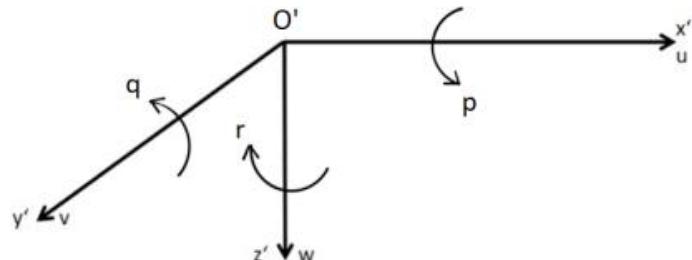


图 2-13

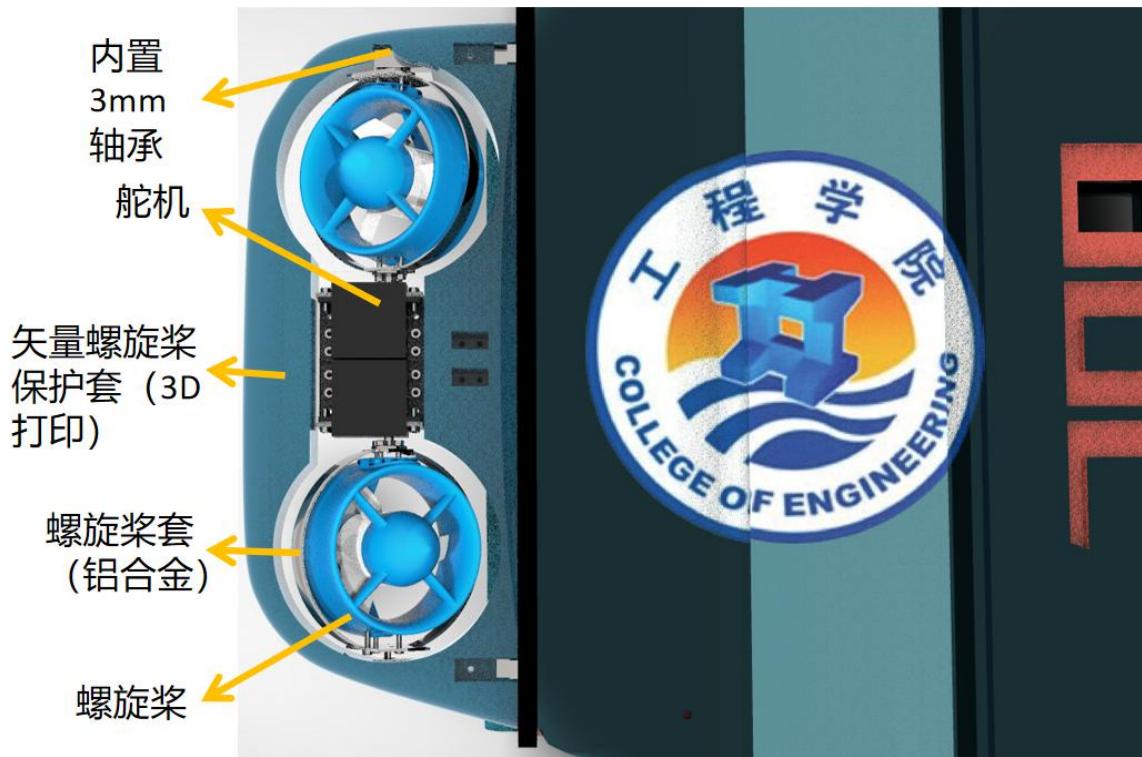


图 2-14

2.3.4 机器人摄像头舱与摄像头

传统观察级水下机器人一般在主控舱前安装半圆球形摄像头舱，如图 2-15。

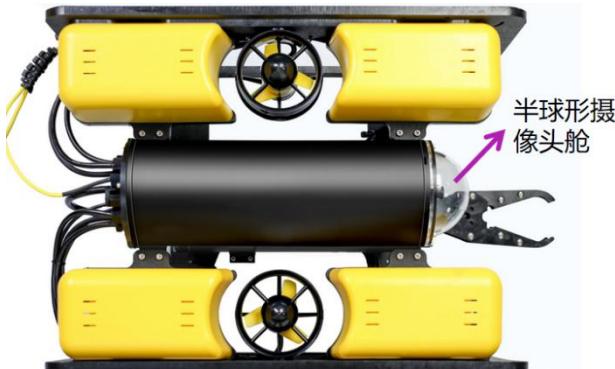


图 2-15

本项目机器人进行监测作业时，网衣位于机器人航行方向的下方。为使摄像头获得较清晰的图像，单独设计位置靠近机器人底部的摄像头舱，内置高清摄像头和舵机。航行过程中，可用舵机控制摄像头角度，实现更精准的网衣监测工作。

摄像头舱及内部结构如图 2-16。

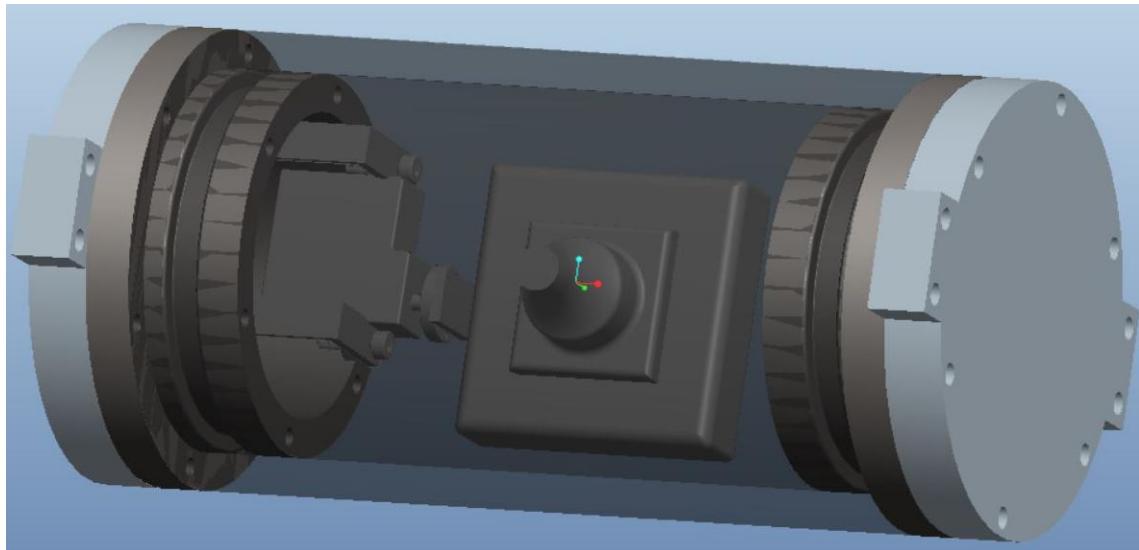


图 2-16

2.3.5 贴网雪橇与整体外形设计

现有贴合壁面功能的机器人主要有船体表面清洗机器人、高楼玻璃墙清洗机器人等，多采用履带式、轮式结合磁吸或真空吸盘的方式，附着在船体表面、高楼玻璃墙等光滑、坚硬、无孔的物体表面。

而本团队设计的机器人需长时间贴网衣行走。基于网衣本身多孔且柔软、网衣在水下会随水流摆动的特性，传统磁吸、真空吸盘、履带或轮式的附着方法无用甚至会造成与网衣的剐蹭，因此设计贴网雪橇贴合网衣。

贴网雪橇采用整块铝合金打造，表面较光滑，减少了与网衣之间不必要的摩擦。此外，贴网作业时，矢量螺旋桨可旋转至中轴线与水平面夹角 90° 并持续开启，将机器人推向网衣，保持机器人贴网。为防止机器人贴网雪橇或其他部件剐蹭网衣或被网衣勾住，雪橇前端向上勾起并与侧板连为一体，同时整体机器人外形设计较为圆润，避免了对网衣不必要的伤害。

贴网雪橇如图 2-17，机器人整体设计图如图 2-4、图 2-5、图 2-6。

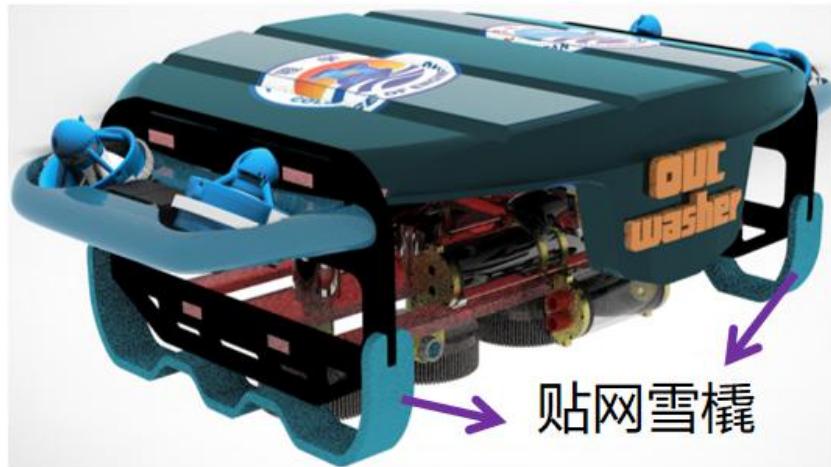


图 2-17

2.3.6 清洗模块的设计

清洗模块主要由毛刷、电机、止推轴承组成。由于机器人采用高频率自主清洗且清洗时贝类、藻类处于生长初期，附着能力较弱，故使用低功率清洗方法（毛刷转动清洗）。

清洗模块中电机共4个，每个功率为40W。通过止推轴承来承受轴向力，有效减小机器人贴网时网衣对机器人的反作用力对电机的影响，增加使用寿命。清洗模块如图2-18、图2-19。

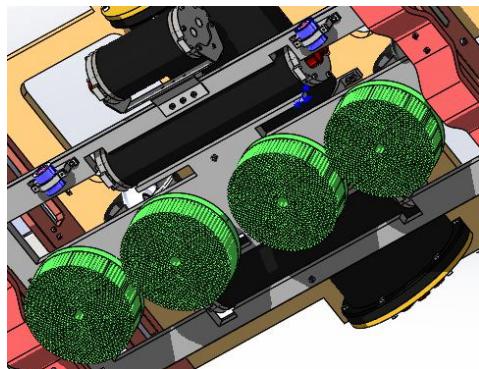


图 2-18

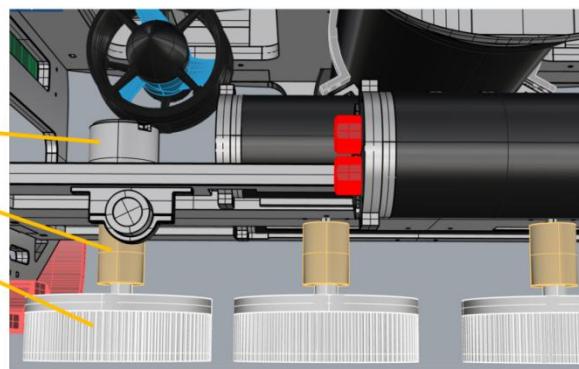


图 2-19

2.3.7 机器人下位机控制方案的设计

(1) 基本控制方案的实现

下位机PCB如图2-20、2-21，机器人控制方案如图2-22。

a) 运动方面

编写基本运动函数，手柄发送一次指令后，下位机将通过调用基本运动函数来操作电调运行一个较短的单位时间。外控系统采用**PID**控制，根据预定轨迹和行进实际轨迹的偏差进行负反馈控制。内控回路根据水下机器人的动力学特性进行补偿，使其变换为解耦的线性系统，简化控制难度。

b) 摄像头舵机方面

手柄发送一次指令后，下位机操作舵机向指定方向调整一个较小的单位角度。

c) 毛刷控制方面

手柄发送一次指令后，下位机通过切换标志状态量控制电机电调开闭。

d) 推进器舵机方面

手柄发送一次指令后，下位机通过切换标志状态量操作舵机调整至指定预设角度。

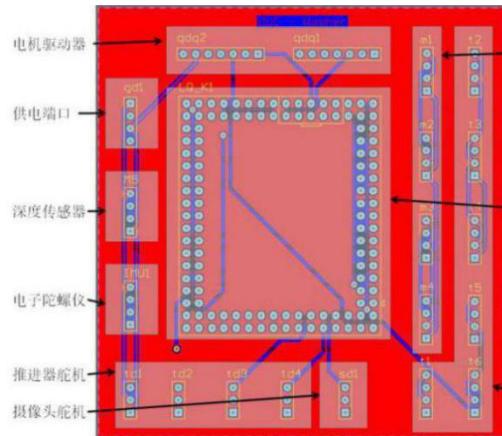


图 2-20

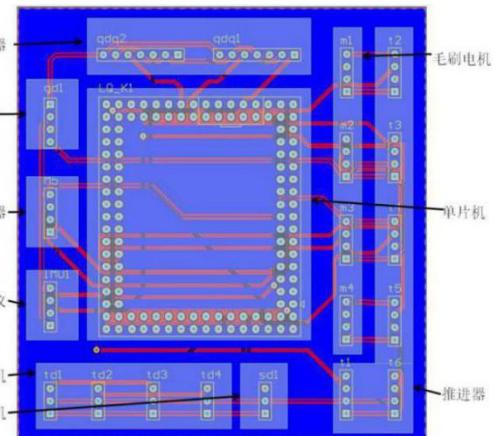


图 2-21

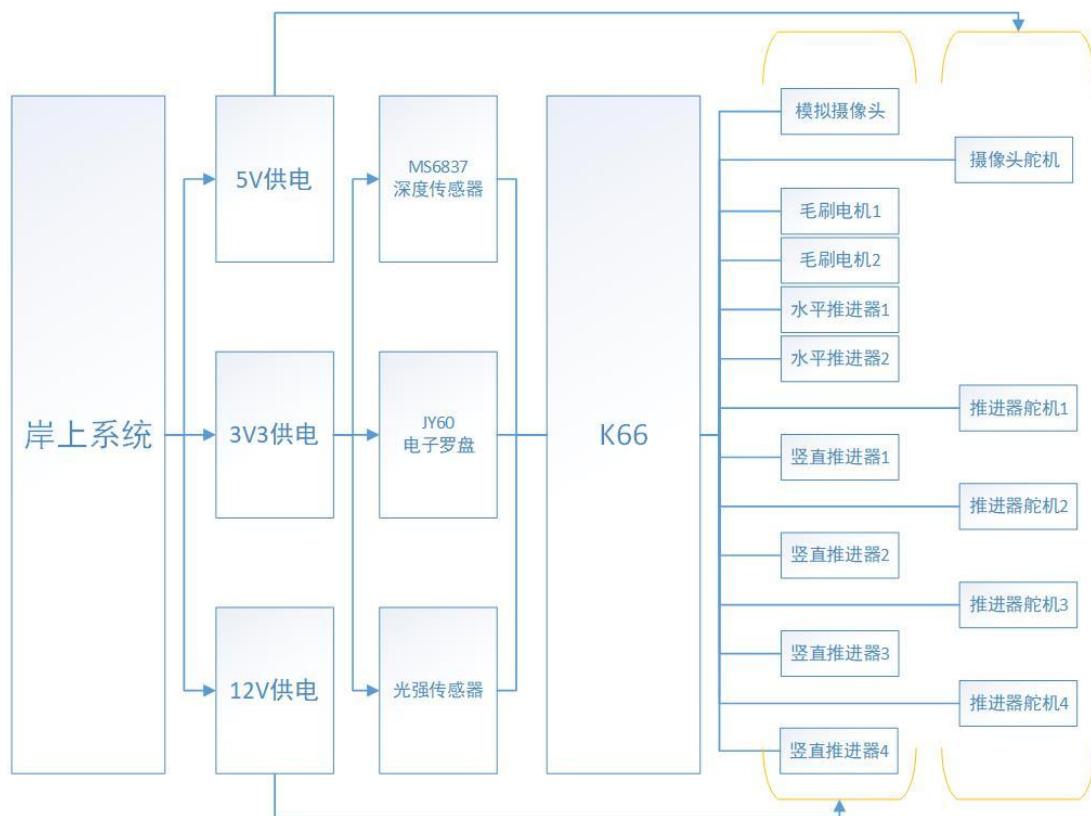


图 2-22

(2) 自主航行功能的实现

网箱的底面形状分为矩形和圆形。系统可以通过上位机输入预设网箱的基本尺寸数据（如预设圆柱网箱，则输入半径 R 和高度 H），机器人可自主清理预设的底面形状的网箱（矩形、圆形）。通过电子罗盘反馈的三维加速度二次积分实现已完成路径的计算，在每一圈的固定位置消除误差，实现较为稳定的贴网运行，增大清洗效率，最终实现深度递进式的自主规划路径清理，实现普适性的自主清理应用。

自主航行时，如果纵向或竖直路径积分结果在圆柱形网箱直径（或方形网箱边长）的 2%以内则认定为正常航行状态，超出则认定为偶遇突变海流，此时机器人通过零浮力缆中的有线串口线将指令传输到太阳基站，再通过无线串口与无线网桥将指令传输到远程监控平台。远程监控平台接收指令后会报警，提示此时需人工远程操作。

自主航行程序结构图如图 2-23，深度递进式航行路线如图 2-24。

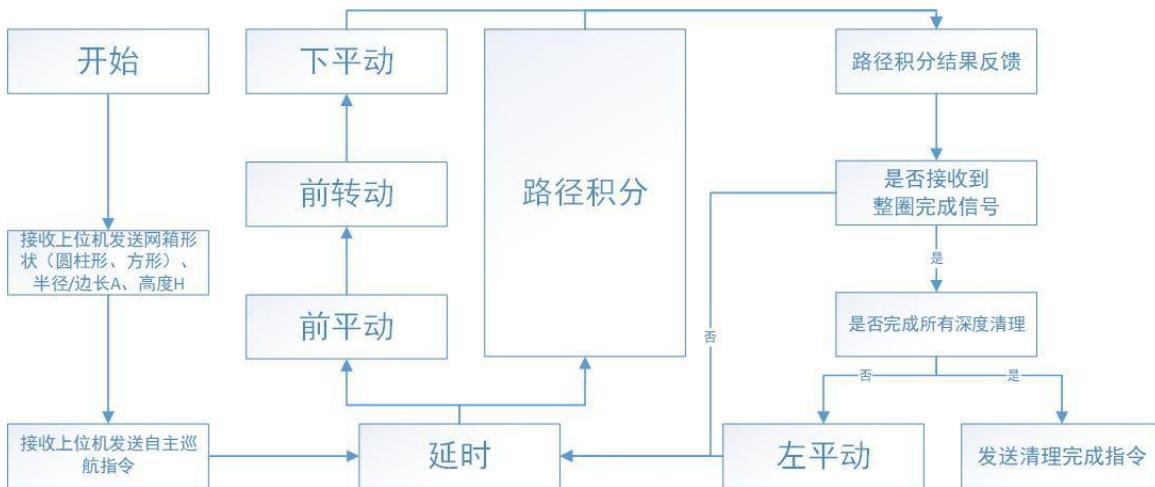


图 2-23

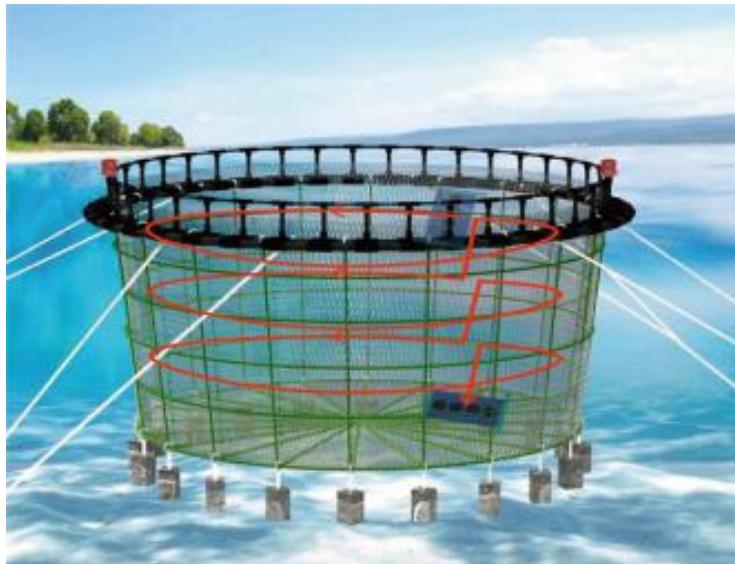


图 2-24

2.3.8 手柄

手柄由外壳、电路板、按键、模拟显示屏、无线串口（用来向远程监控平台发送指令，位于手柄内部）组成，用来控制机器人并向远程控制平台传输图像及数据。

外形（3D 打印制作）、按键设计如图 2-25，电气结构图如图 2-26。

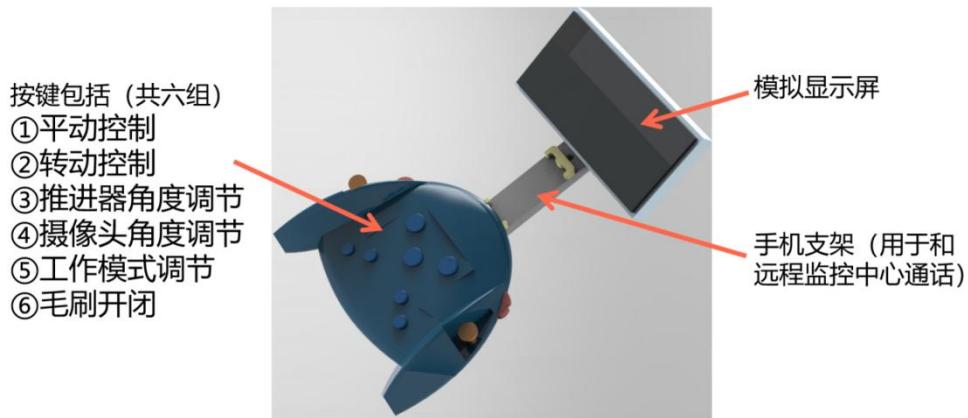


图 2-25

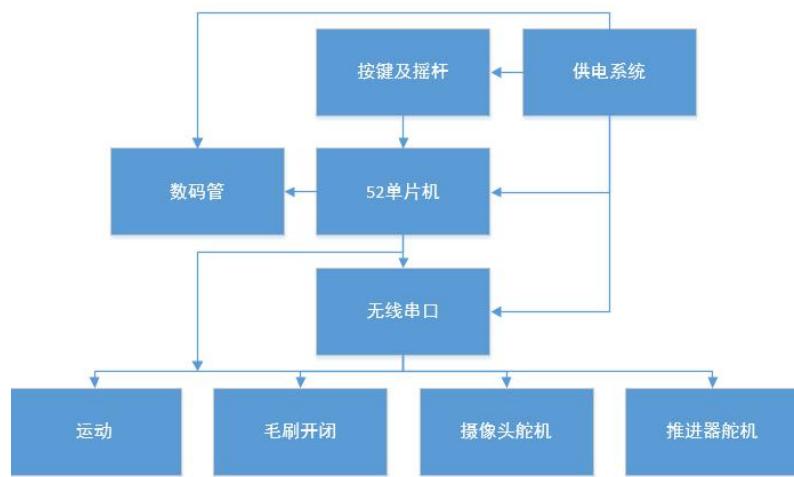


图 2-26

2.4 能源基站—水下常驻基站、太阳能基站

2.4.1 水下常驻基站

水下常驻基站由框架、磁铁组成，机器人不作业时停靠在位于网箱内部的水下常驻基站中，通过太阳能基站充电。

若进行按指定路径的自主航行，则无需人员到场搬运机器人，可通过远程监控平台远程控制机器人离开常驻基站，进行完自主航行后再远程操作机器人进入基站。

基站内使用六块吸力为 30N/块的小型磁铁固定机器人，由图 2-56 可知螺旋桨功率超过 120W 即可摆脱吸力，离开基站。小型磁铁的加入使机器人常驻时更稳定、不易受海流影响，离开时便捷。

为保证机器人进出水下常驻基站时不受零浮力缆影响，机器人采用顶部走线的方式固定零浮力缆，零浮力缆与主控制舱后端连接，经过位于主控制仓上端的固定带固定，最终从浮体材料顶部“OUC” logo 中穿出，具体见图 2-6。

水下常驻基站如图 2-27。

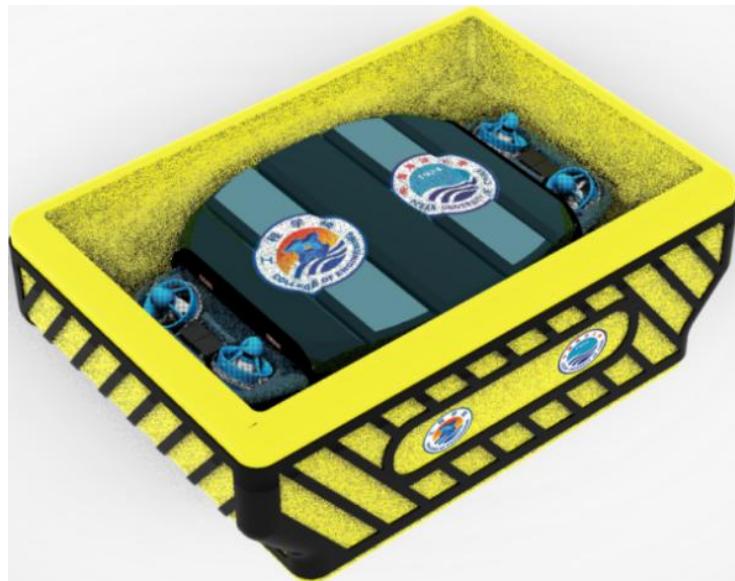


图 2-27

2.4.2 太阳能基站

太阳能基站安装在网箱边的平台上（网箱浮体材料旁都会安装一圈平台，方便人员站立、作业或放置杂物）。

其结构主要由功能箱（内放太阳能基站电路板、机器人电池、视频分配器、无线网桥）、支架、双自由度舵机系统、太阳能板组成。

经过能耗计算并考虑成本，决定使用一块功率 **200w**、额定电压 **36V**、额定电流 **5.5A** 的太阳能板，同时机器人供电使用一块 **14AH** 电池，太阳能板最快 **160min** 充满此电池。

团队通过 arduino 核心、光敏电阻、双自由度舵机组和太阳能板设计了一个双自由度实时追踪太阳能的充电系统。通过二维光敏矩阵实时反馈的太阳能方位对舵机进行闭环控制，使阳光持续直射太阳能板，增大太阳能充电效率。

岸上太阳能基站如图 2-28，双自由度舵机系统如图 2-29，控制充电程序框图如图 2-30。

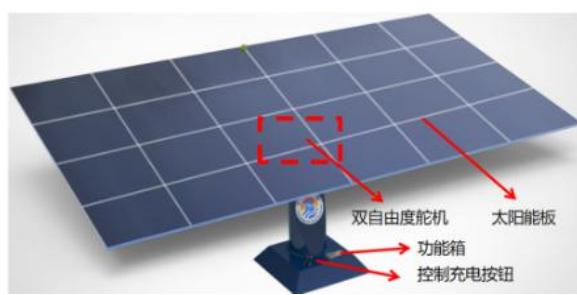


图 2-28

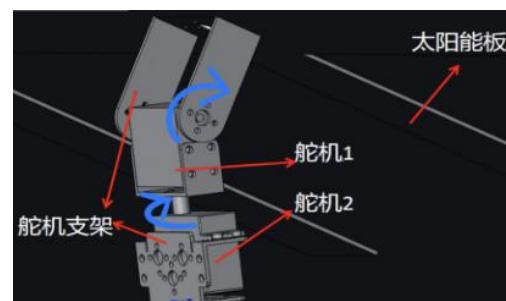


图 2-29

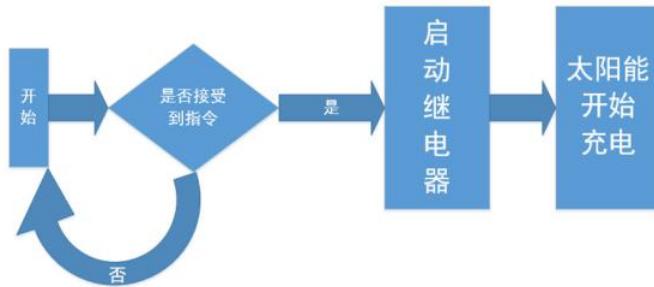


图 2-30

2.5 扩展软件——远程监控平台、图像处理系统与数据分析系统

2.5.1 综述

远程监控平台、图像处理系统和数据记录分析系统为本团队开发的软件，用户需安装在**远程控制中心**（如养殖公司会议室、实验室、办公室等）电脑上。

用户购买本系统后可下载这三个软件，软件与机器人之间通过**无线网桥、无线串口**等实现通信，串口指令由本公司掌握且可做定制化修改，在**产品实用性**的基础上充分保证用户的安全性与防止技术的泄露。

传统网衣清洗作业仅依靠现场人员操作，对现场操作人员的经验与专业知识要求较高，造成操作过程中出现一些问题（如清洗不净、对鱼类造成伤害、对网衣造成剐蹭等）。同时，富有专业知识和经验的养殖公司或高校专家、领导不能经常亲临网箱养殖一线，无法在清洗过程中和清洗后给出相关建议和指导，一定程度上造成了资源浪费。

为改进渔业作业方式，提升养殖过程中人员交互效率，团队设计了远程监控平台、图像处理系统和数据记录分析系统。作用为：实现养殖公司或高校相关专家、领导在**远程实时观看清洗直播、监控机器人运动姿态**；作业结束后通过自动识别与截图保存的附着物图片、自动生成的作业数据记录 Excel 表、自动生成的两张数据可视化分析图对本次、历次的清洗、监测数据进行分析，给出养殖、机器人使用、网衣清洗相关意见。

扩展软件增进了养殖公司对本海域附着物情况的了解，有助于制定更高效、更科学的网衣清洗计划与养殖策略，提升渔业自动化和现代化水平。

2.5.2 远程监控平台

远程监控平台使用 LabVIEW 编写，可通过**无线串口、无线网桥等模块与手柄、机器人相连**（具体见正文 2.6 通信方案），可读取、发送指令，同时接收机器人摄像头回传的图像。其作用为：**实时远程监控或远程遥控机器人运动、实时观看机器人摄像头捕捉的图像、自动记录作业数据到 Excel**。

同时，监控平台还设有**自动报警功能**，通过电子陀螺仪感知正在自主航行的机器人的运动姿态，如果短时间内纵向或竖直路径积分结果超过圆柱形网箱直径（或方形网箱边长）的2%则认定为**偶遇突变海流**，此时机器人下位机会传输特定指令，远程监控平台接收指令后会报警，提示应切换到远程人工操作。

远程监控平台整体界面设计简洁、直观，为不了解机器人专业知识的网箱养殖户公司工作人员带来了信息读取的便利。

远程监控平台如图 2-31、图 2-32，远程监控平台在测试过程中的截图如图 2-33。



图 2-31



图 2-32

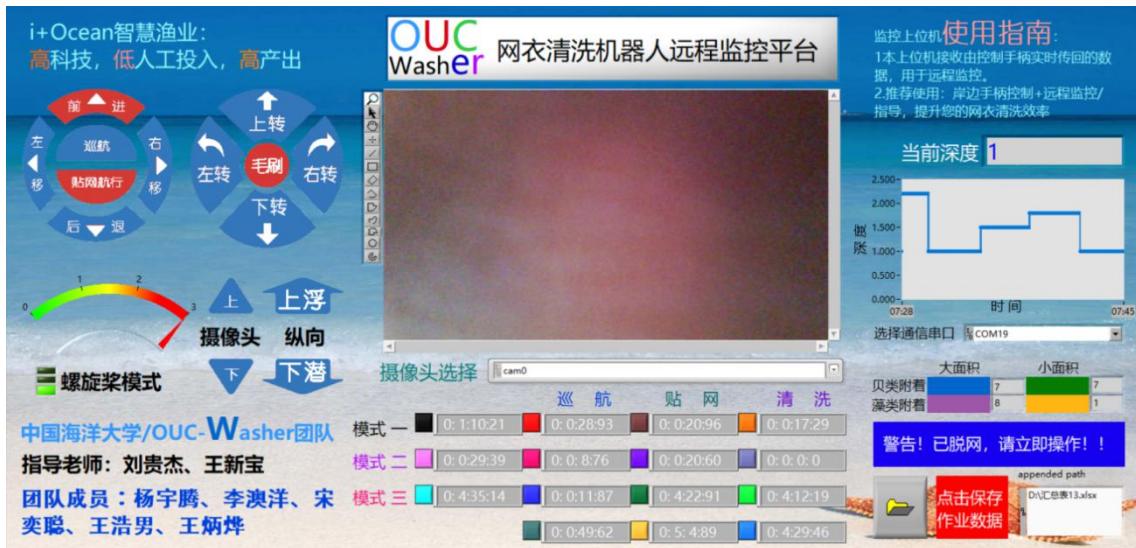


图 2-33

2.5.3 图像处理系统

(1) 综述

图像处理系统主要完成的工作为：在巡航过程中实时检测、记录贝类和藻类附着物的面积和数目，再映射到远程监控画面。

团队开发了基于深度学习的水下物体目标检测计数算法来完成此工作。

(2) 技术背景

采用基于深度学习的目标检测算法来实现贝类藻类分割的任务。

其中深度学习（Deep Learning）是机器学习（Machine Learning）的一个大分支，人工智能一大领域，以人工神经网络为架构，对数据进行表征学习的算法。

深度学习的优点是用非监督式或半监督式的特征学习和分层特征提取的高效算法来替代手工获取特征。而基于深度学习的目标检测（Object Detection）则是提取视野中的各种低阶高阶特征，然后通过定位网络，准确地将物体的种类和位置标识出来。

目标检测有着三个层次的目标：

第一，分类（Classification），即是将图像结构化为某一类别的信息，用事先确定好的类别或实例 ID 来描述图片，这是最基本的目标。

第二，检测（Detection），检测任务更加关注具体目标，需要从背景中分理出感兴趣的目标，并确定这一目标的类别和定位，用检测框来标定。

第三，分割（Segmentation），分割不仅要给出物体的定位信息，还要给出轮廓信息，要求更高，而且更加精细。

团队的目标是达到第三个层次，将网箱周围附着的杂物检测并且分割出来，并计算面积和数目。

(3) 解决方案

通过对机器人巡航过程中采集来的视频进行抽帧，将抽帧得到的图片放入训练好的 **MASKR-CNN** 网络中，得到带有目标掩膜的结果图，通过对掩膜的像素分析，分别得到贝类、藻类的面积大小。通过预设一个阈值（threshold），判断图片中的贝类、藻类面积是大面积还是小面积，并将得到的结果自动记录下来。

(4) 训练策略

采用经典的语义分割网络 MASKR-CNN，能够同时产生检测框和分割掩膜。网络整体采用卷积神经网络，通过带有一定权重的卷积核来对当前的图像进行卷积操作，由于卷积操作是线性相乘，因此在每一层卷积之间引入非线性激活函数，对当前的信息进行激活，经过层层卷积，最终得到该图像的特征图，映射到一个全连接层，再与真实的标签一起计算得到损失函数，来衡量与真实情况的偏差。由于每层的卷积操作都是可微的，因此可以通过链式法则来对每层网络的参数进行梯度计算，并且更新参数，直到进入到全局最低点，这时训练工作基本完成。

(5) 结果展示

较有代表性的三张识别结果：图 2-34，水下真实图片的藻类分割；图 2-35，渔网上贝类藻类的分割；图 2-36，近距离渔网上贝类藻类的分割。其他的部分的结果图如图 2-37、图 2-38、图 2-39 所示。

藻类用纯绿色框标出，贝类用蓝绿色框标出。

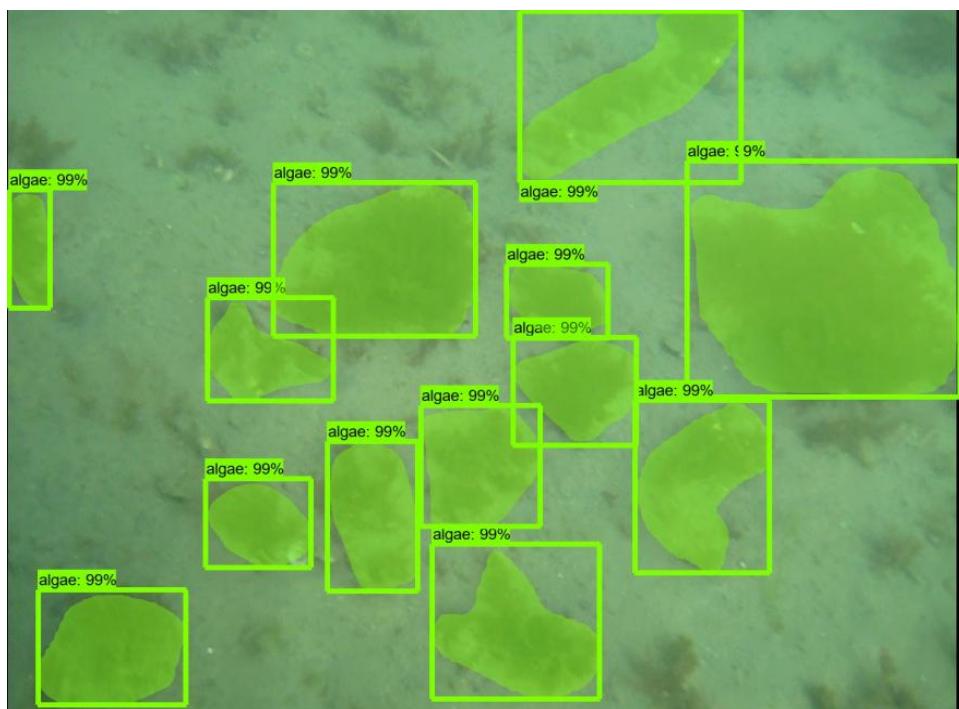


图 2-34



图 2-35

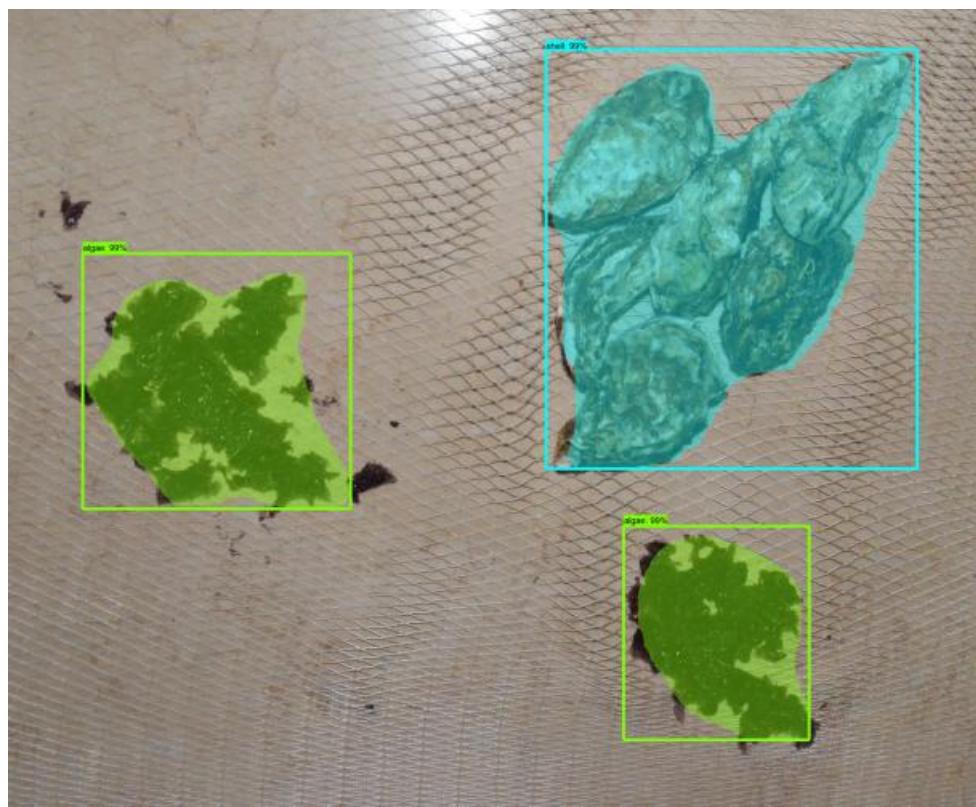


图 2-36



图 2-37

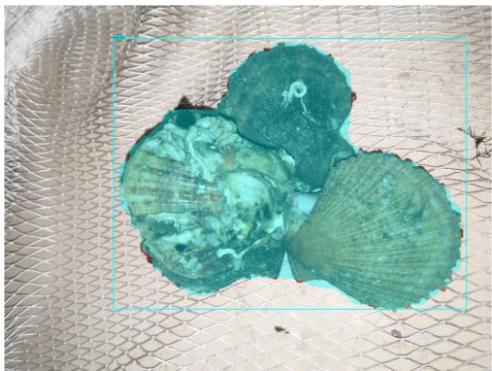


图 2-38



图 2-39

2.5.4 数据分析系统

(1) 综述

数据分析系统使用 python 编写，主要基于 matplotlib、pandas、xlwt。

通过 Excel 表实现数据的永久记录；通过数据分析系统自动提取 Excel 中数据并生成两张可视化分析图（Excel 中数据来自远程监控平台和图像处理系统的自动记录），实现对数据的分析、可视化表达，提升养殖办公的自动化程度和工作效率。

用户可以在 Excel 表格中查看自购买本产品以来的所有清洗记录，同时通过数据分析系统分析近两个月的作业数据。

由于不同海域气候条件、污染物种类不同，导致生长的附着物种类、面积不同，需要探索适合当地的清洗计划与流程。养殖公司可以定期聘请专家根据作业数据、分析图、附着物截图查看网衣使用情况、养殖情况、机器人使用情况，给出专业性建议。同时可以根据历次作业实际情况，结合作业数据、分析图与附着物截图，对每次作业进行总结，进而探索出适合本海域、本时间段的清洗计划与方法，实现对整体系统的高效利用，提升渔业数字化、现代化程度。

工作流程图如图 2-40。

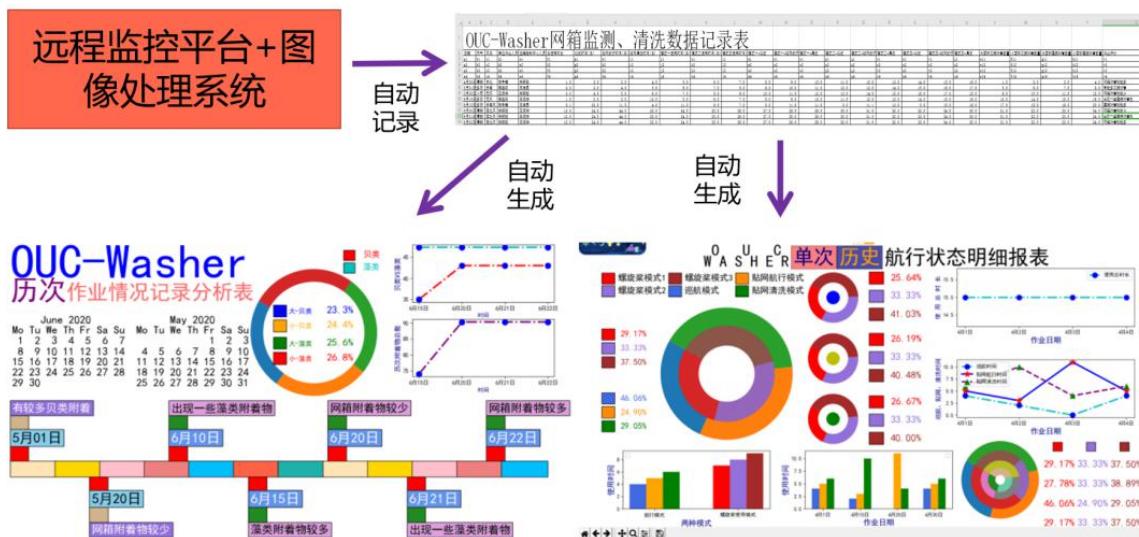


图 2-40

(2) 数据记录 Excel

记录数据的 Excel 可由用户自定义文件名和存放位置（系统默认放置于 D 盘内），内存 26 组数据，由远程监控平台自动记录从第一次作业开始的所有作业数据。根据历次作业数据，方便用户制定更符合本海域条件的清洗策略。

表格从 A~E 列分别表示：日期、天气、风向、岸边作业人员、远程控制中心人员，F~U 列分别表示总体、巡航、贴网、清洗、螺旋桨模式 1、螺旋桨模式 2、螺旋桨模式 3、螺旋桨模式 1+巡航、螺旋桨模式 1+贴网、螺旋桨模式 1+清洗、螺旋桨模式 2+巡航、螺旋桨模式 2+贴网、螺旋桨模式 2+清洗、螺旋桨模式 3+巡航、螺旋桨模式 3+贴网、螺旋桨模式 3+清洗的使用时间，V~Z 列分别表示：大面积贝类附着数量、小面积贝类附着数量、大面积藻类附着数量、小面积藻类附着数量、作业评价。

数据记录 Excel 截图如图 2-41。系统目前已经过 11 次模拟测试，故表格中有 11 组数据。

图 2-41

(3) 可视化分析图

两张可视化分析图由数据分析系统自动生成，分别分析机器人航行状态、近两个月的作业状态，将 Excel 中数据直观、可视化的呈现，方便养殖公司进行留档、会议讨论，进而制定更合理的清洗、监测策略。

机器人航行状态分析图如图 2-42, 历次作业情况记录分析图如图 2-43。

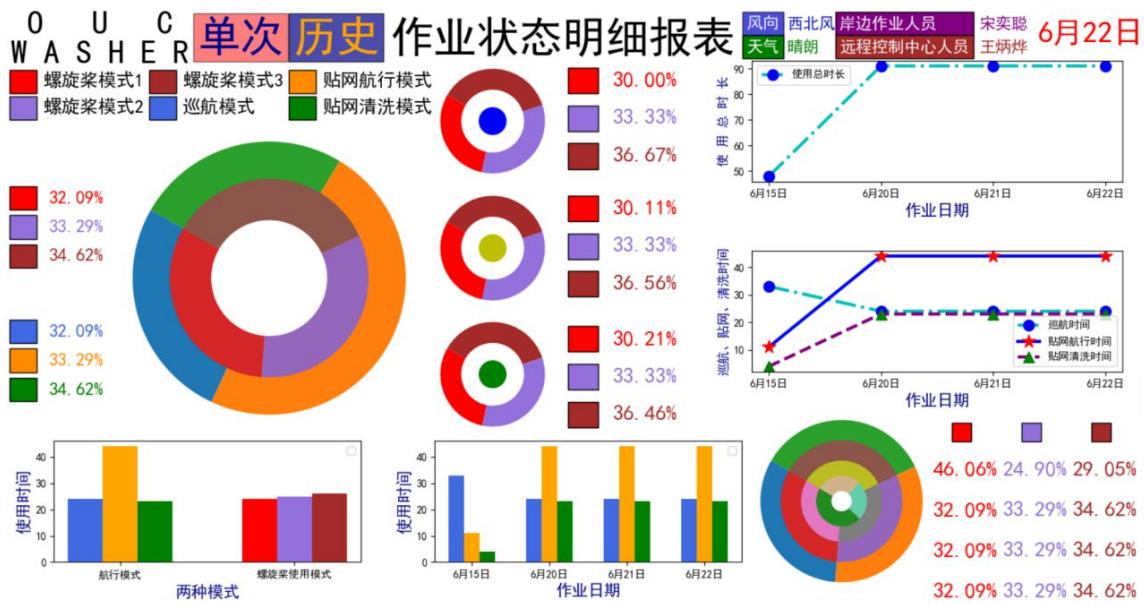


图 2-42

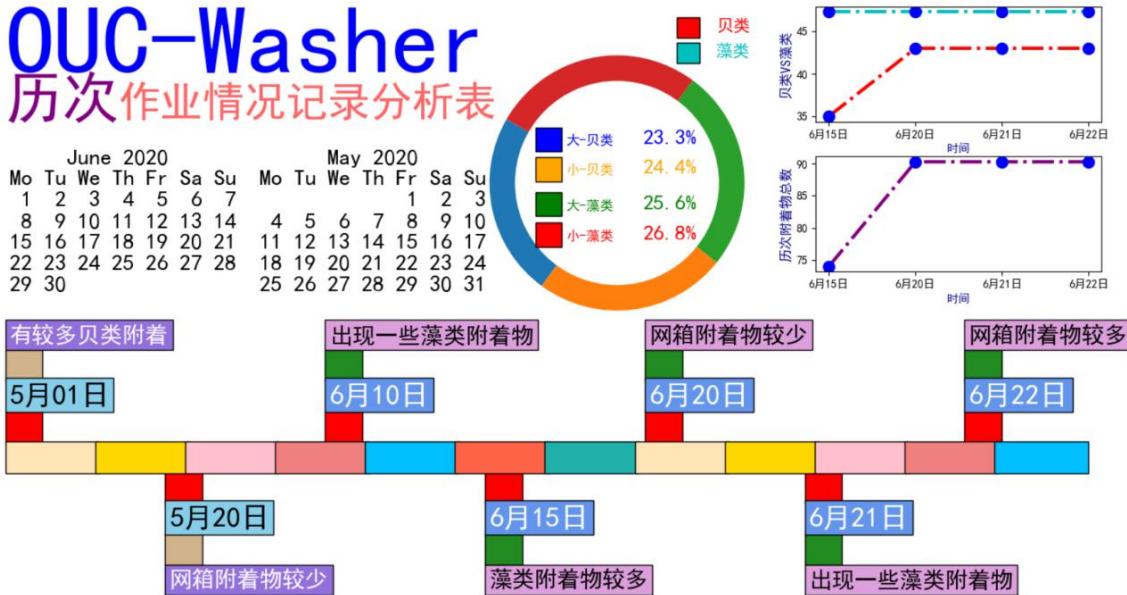


图 2-43

2.6 通信方案

整个机器人通讯系统包括机器人下位机、手柄和上位机（远程监控平台）。下位机和手柄之间通过零浮力缆连接，上位机和手柄之间通过无线网桥、无线串口模块实现图像、指令的无线长距离传输。

图像传输通过模拟摄像头、BNC 转双绞线传输器和模拟显示器实现手柄上的图像显示，通过视频分配器、无线网桥和视频采集卡实现远程监控平台的图像显示。操作传输通过普通串口、无线串口实现。

总体通信方案如图 2-44，图像传输方案如图 2-45。

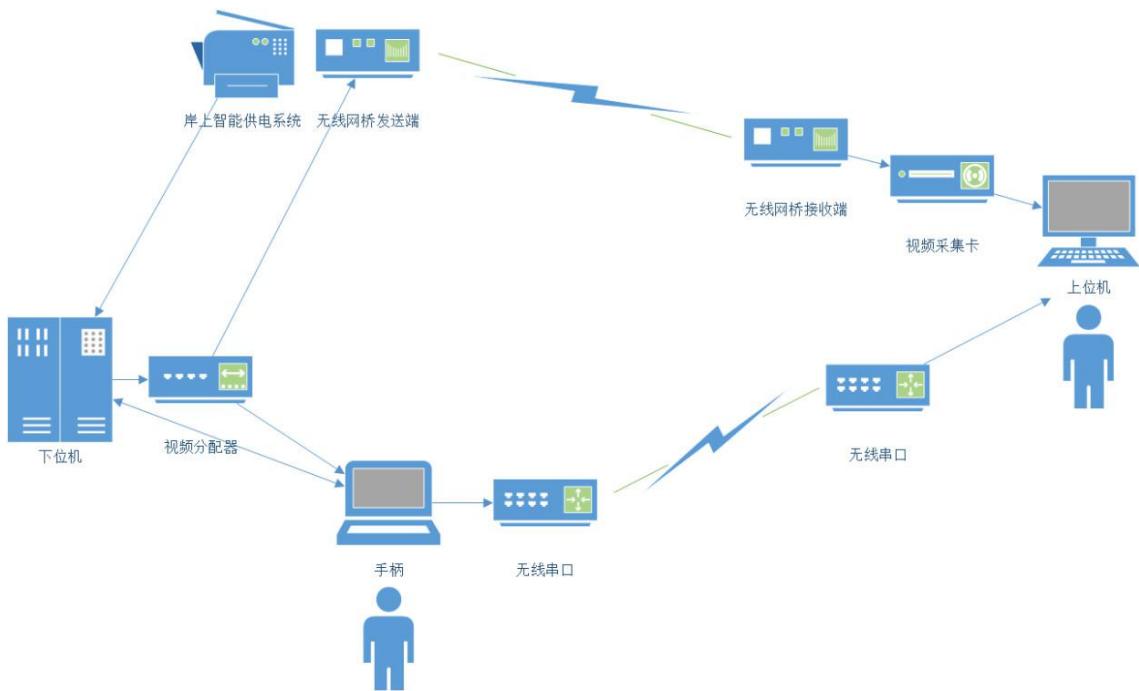


图 2-44

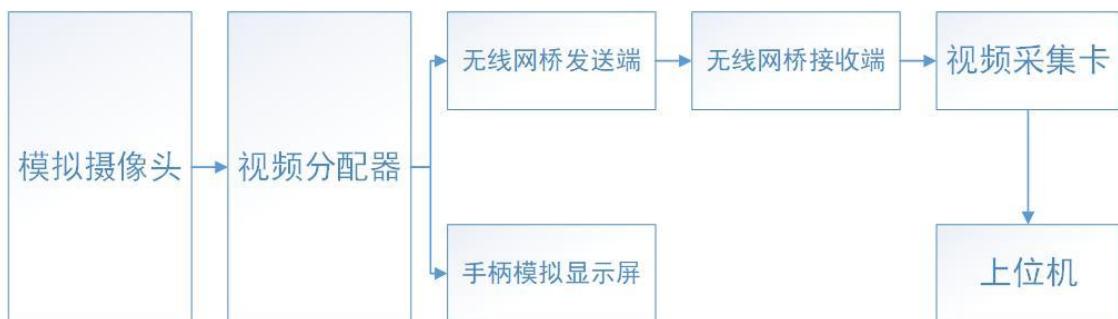


图 2-45

2.7 静力学与运动学分析

2.7.1 耐压仓静力学分析

假设水深为 50m，则 50 米水深时的压强为

$$P = 5 \times 0.1 \text{ MPa} = 0.5 \text{ MPa}$$

(1) 控制仓静力学分析

控制仓参数为：直径 **D=136mm**，体积 **V=1492.4cm³**，表面积 **S=1709.03cm²**

POM 材料抗压强度为 **70MPa**。

根据公式 $\sigma = PD/4t$ 可得：

$$t = 1.13 \text{ mm}$$

有限元分析如图 2-46。

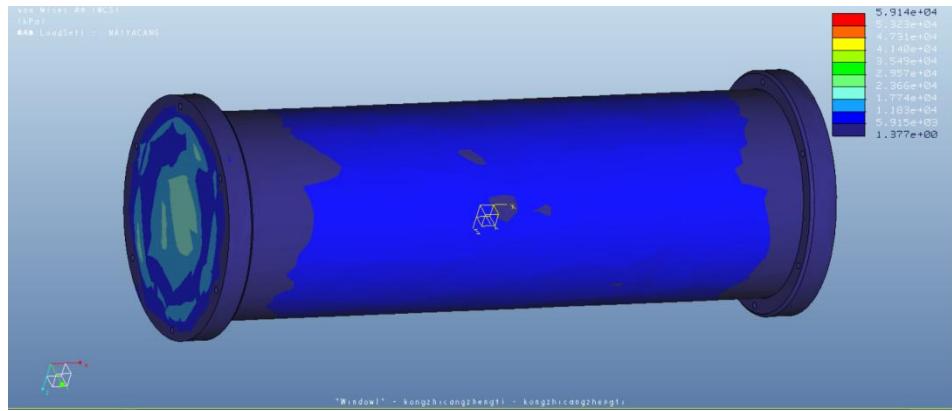


图 2-46

(2) 摄像头仓静力学分析

摄像头仓几何参数：直径 $D=60\text{mm}$ ，体积= 86.3cm^3 ，曲面面积= 362.8cm^2
亚克力材料抗压强度为 130MPa 。

根据公式 $\sigma=PD/4t$ 可得：

$$t=0.57\text{mm}$$

摄像头仓有限元分析如图 2-47。

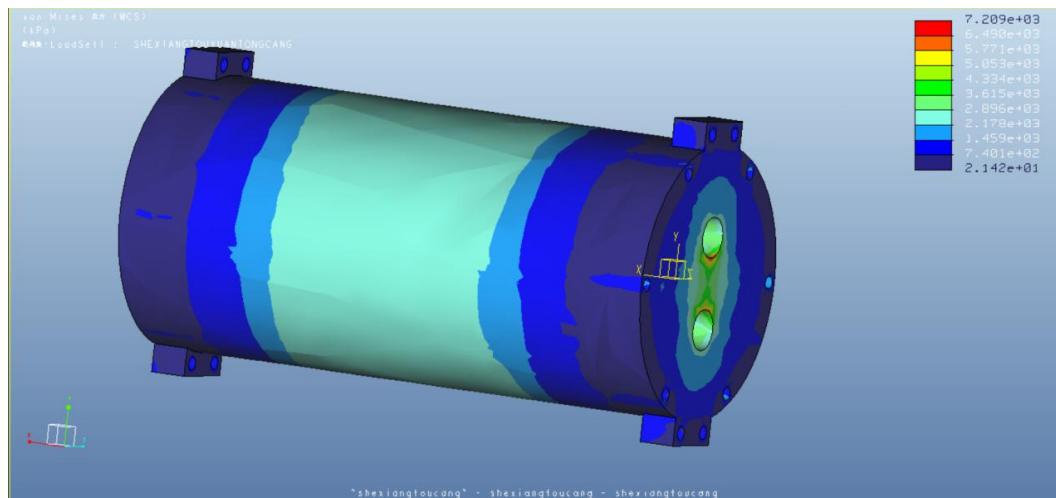


图 2-47

(3) 重心调节仓

重心调节舱几何参数：直径 $D=60\text{mm}$ ，体积= 431.9cm^3 ，曲面面积= 174.5cm^2
亚克力材料抗压强度为 130MPa 。

根据公式 $\sigma=PD/4t$ 可得：

$$t=0.57\text{mm}$$

重心调节舱有限元分析如图 2-48。

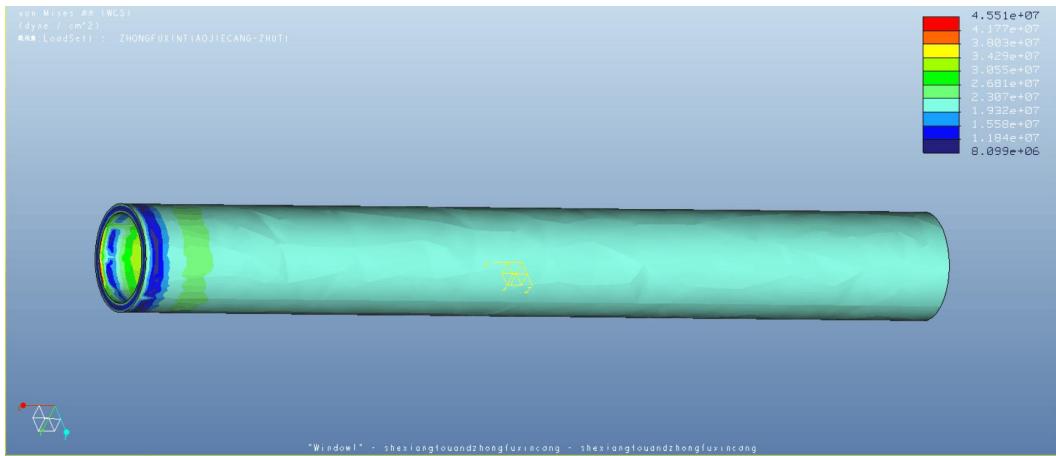


图 2-48

(4) 浮体材料静力学分析

浮体材料几何参数: 体积 $V=796.7\text{cm}^3$, 面积: 844cm^2

材料: eps

浮体材料有限元分析如图 2-49。

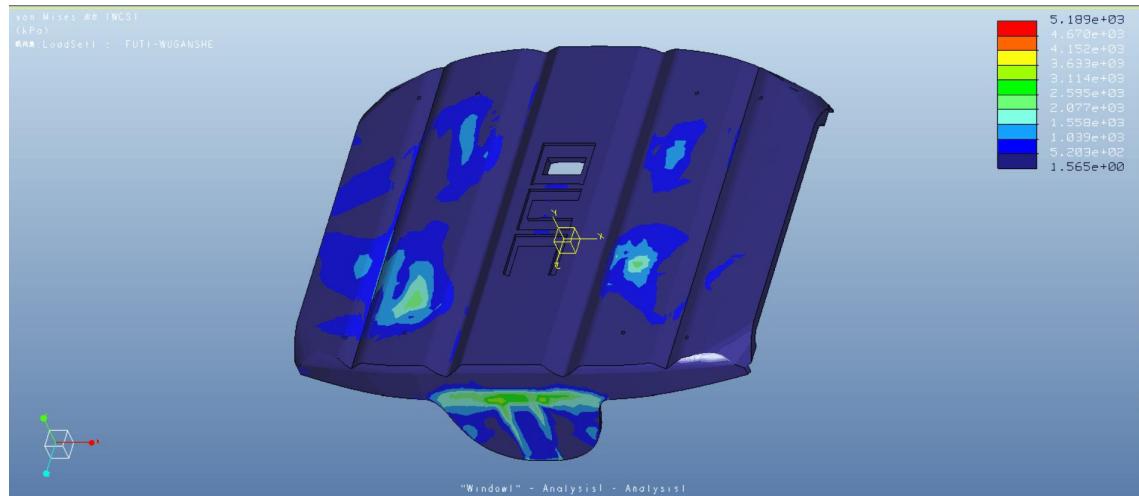


图 2-49

(5) 结论

通过 proe5.0 的 Mechanica 对自主设计的摄像头仓、重浮心调节仓、控制仓和一整块浮体四个部分进行有限元分析，施加 **70 米水深的压强 (0.7MPa)**，可以看出整个仓体外部受力载核情况较好，没有出现承受载核较大的区域，承受的最大载荷也保持在少于危险载荷一半偏少的范围，因此不用担心仓体和浮体出现断裂、失效、进水等问题。

2.7.2 网衣清洗机器人水阻力分析

先通过 ANSYS16.0 的 workbench 模块中的 mesh 功能，对整个 rov 的外壳进行一个网格划分，并建立了一个以 ROV 中心为中心的一个 $2\text{m} \times 2\text{m} \times 2\text{m}$ 的正方形空间。

之后通过 fluent 模块，对正方形施加一个与 ROV 正向运动方向运动相反的 0.2m/s 的水流（介质为液态水 H_2O ），可以得到整个 ROV 在行进时的流场图（如图 2-50、图 2-51）和压力场图（如图 2-52）。从流场图可以看出，整个 ROV 在运行时，对于海流的影响较小，没有引起较大的海洋乱流，因此 ROV 在运行时受海流的影响不算太大。

通过水的压力场图（如图 2-52）可以看出，在水流正向接触 ROV 时压力变化较大，但在 ROV 的其他部分，水流压力变化较小，因此不用担心海流对整个 ROV 的姿态以及主体的破坏。

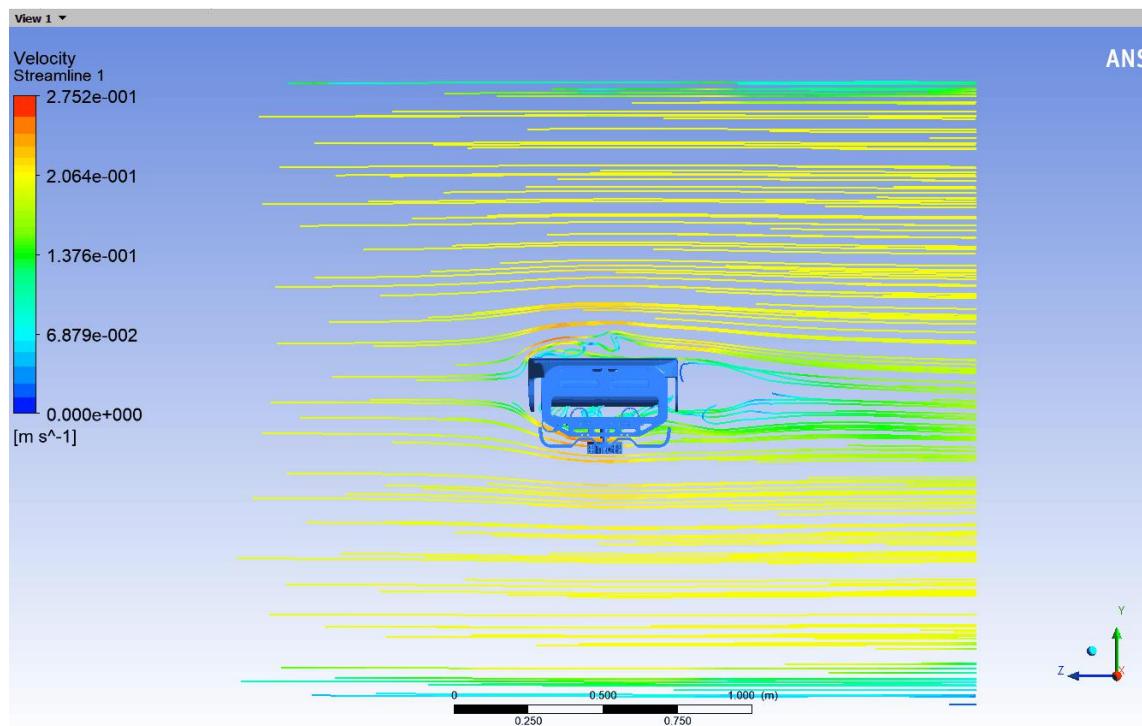


图 2-50

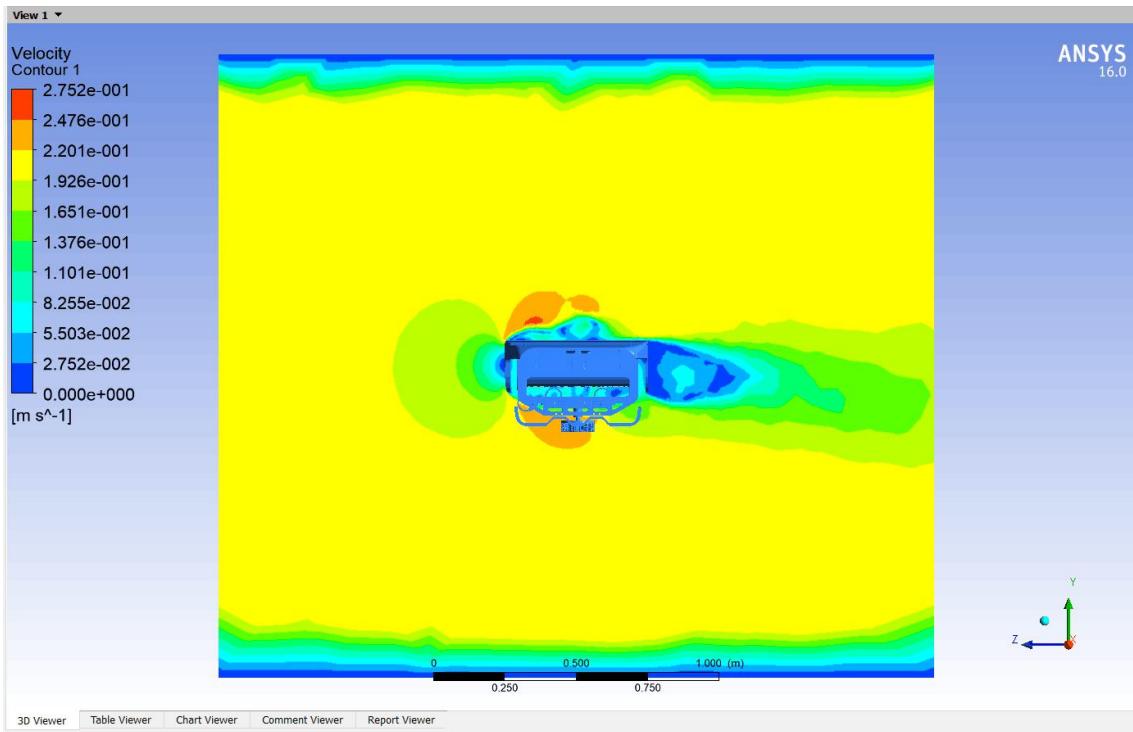


图 2-51

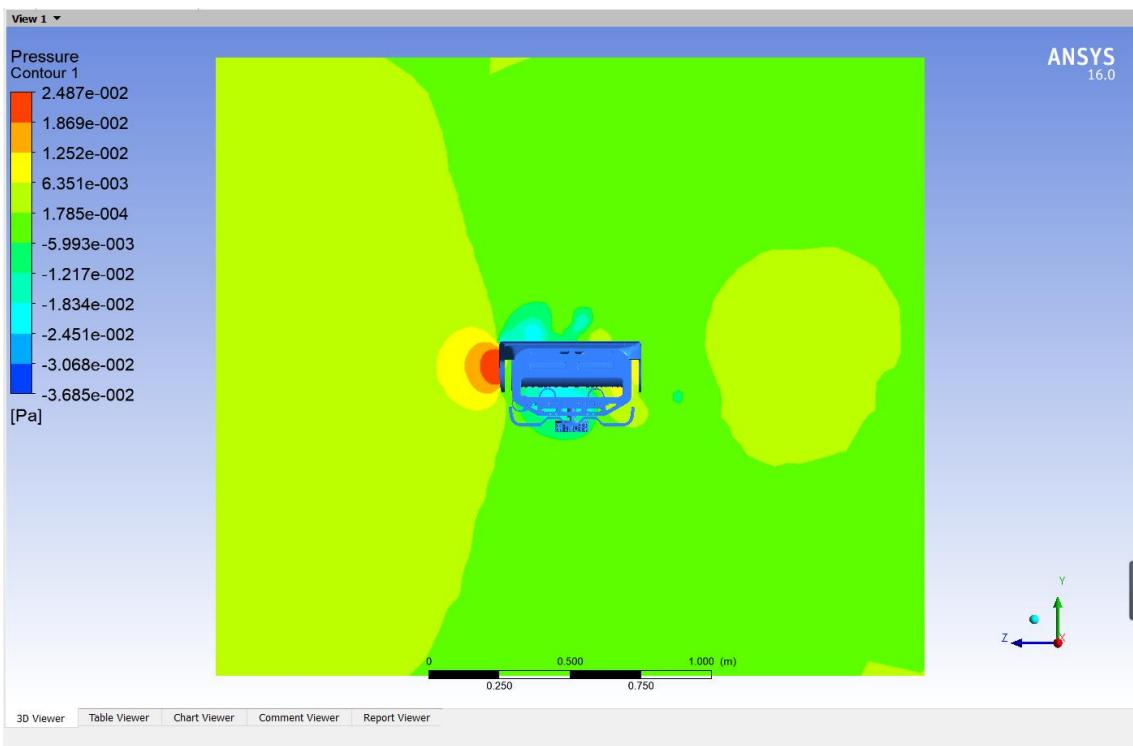


图 2-52

2.7.3 清洗附着物时机器人贴网推力计算

通过调研与资料查找，假设附着物附着力为 $F_{附}=30N$ ，毛刷的总压力为 F 。清洗简化图如图 2-53，其中蓝色线为网衣，橘黄色为附着物，绿色为毛刷。

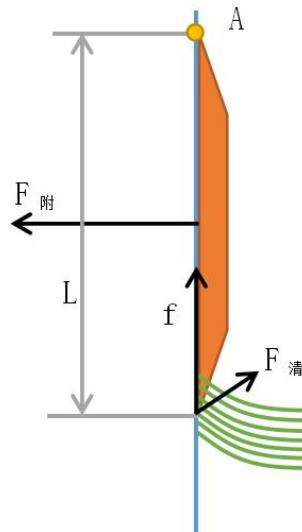


图 2-53

模拟附着物清理时的理想过程，假设贝类附着物以 A 为支点被翘起，f 为毛刷的摩擦力，F 清为毛刷作用在附着物上的 f 在 60° 方向上的分力（模拟毛刷对附着物有效果的力为 60° 分量上的），根据力矩守恒有

$$F_{附} \times \frac{L}{2} - f \times \frac{1}{2} \times \frac{\sqrt{3}}{2} \times L = 0$$

$$f = \mu F$$

假设 μ 为 0.5 则可算出

$$F \approx 70N$$

因此在清刷时最少需要四个推进器提供 70N 的推力。

2.7.4 4. ROV 重心调节分析

经过计算机对 ROV 质量和浮力的仿真得到以下数据（单位：cm）：

①浮心的相对位置坐标为

$$(X, Y, Z) = (6.5552279e-02, -4.7393198e+00, -2.1447044e-01)$$

②巡航模式下重心的相对位置坐标为

$$(X, Y, Z) = (1.3081007e-02, -9.1195811e+00, -7.8085487e-01)$$

③清洗模式下推进器未启动时重心的相对位置坐标为

$$(X, Y, Z) = (3.5278566e+00, -9.1195811e+00, -7.8085487e-01)$$

故可得：在启用重浮心调节模块后机器人可以转过的角度为

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{3.5278566 - 0.013081007}{9.1195811 - 4.7393198}\right) \approx 38^\circ$$

丝杆推动铜块所需要推动的距离 L 为：L=167mm

团队购买的丝杆电机的丝杆的导程 S 为 8mm，所以需要转动的圈数为

$$N = \frac{L}{S} \approx 21 \text{ 圈}$$

设定电机转动速度为

$$\omega = 3 \text{ rad/s}$$

所以转动的时间 t 为

$$t = \frac{N}{\omega} = 7 \text{ s}$$

得出结论：重心调节舱可在 7s 内完成重心调节，使得机器人从与水平面夹角为 0° 转变为与水平面夹角为 38°。

2.7.5 毛刷转动对机器人运动的影响

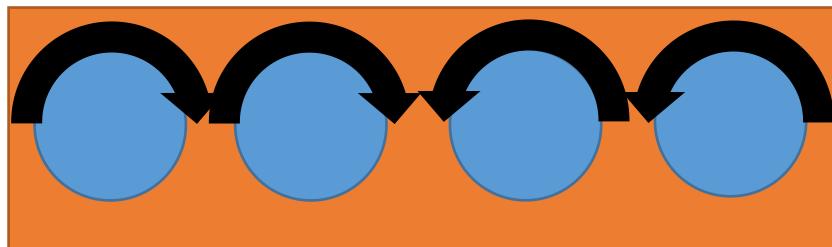


图 2-54

毛刷转动示意图如图 2-54 所示。

毛刷数量为偶数个，四个毛刷均以相同转速转动，其中两个为顺时针转动，两个为逆时针转动。因此由于力矩的抵消，在理想状态下，毛刷的转动对整个机器人的姿态没有影响。

2.8 基于原理的能耗分析

2.8.1 设定假想场景

假设现在需要对一底面积 30 m²，高 5m 的圆柱形网箱网衣进行清洗、监测。经计算网箱侧面展开约为一 20m*5m 矩形。对比使用本团队研发的水下机器人系统和现有小功率网衣清洗机（如图 2-56）进行作业。

2.8.2 对比分析

网衣清洗机使用空化射流（较高能耗）的方式清洗网衣。对比中选用青岛炬荣工程公司生产的 JR-CVPS10 小型空化射流清洗机。咨询公司销售人员得知，使用此设备清洗假定的侧面积为 100 m² 的矩形网衣大约需 1h。

网衣清洗机器人主体能耗主要由螺旋桨、控制毛刷的电机组成，其他部件耗能较少（如摄像头）或单开启时间较短（如舵机）故能耗忽略不计。机器人清洗时作深度递进式运动，水平、竖直推进器持续工作。螺旋桨功率与推力关系图如图 2-55。

由“清洗附着物时机器人贴网推力计算”得：机器人贴网时四个竖直推进器需提供 70N 推力，由图 2.10.1，取竖直推进器功率为 25.2W。取运动速度为 **0.2m/s**，由水流阻力公式

$$F_t = N = \frac{1}{2} \rho v^2 \times A C_D$$

N-水流阻力
 ρ-流体密度(取1.03g/cm³)
 v-航行速度 (0.2m/s)
 A-水阻横截面积, 即机器人截面积, A=0.14m²
 C_D-阻力系数, 此处按照经验取值0.8

得： $F_t=2.3\text{kgf}$ 。螺旋桨推力等于水流阻力，由机器人所使用的 T-200 螺旋桨的推力与功率图（图 2-54）知：此时螺旋桨功率为 **25W**、电压 12V、电流 2.1A，电机功率为 40W，故总功率约为 $P=25*(2+4)+40*4=310\text{W}$ 。

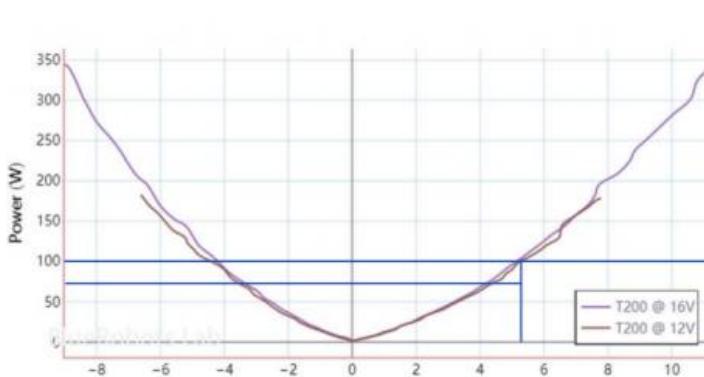


图 2-55



图 2-56

用网衣清洗机器人清洗假定侧面积为 **100 m²** 的网衣（深度递进的航行方式，行走路线如图 2-23），其毛刷覆盖面积宽 530mm，需要绕行网箱圈数（向上取整）为 $N=5000/530=10$ 圈，则需走过的路程为 $S=N*20=200\text{m}$ ，所需时间为 **16.6min**。可算得清洗一次耗电约为 **0.086 度**。

机器人供电使用一块容量 14AH 电池、电压 24V、放电倍率 1c 的电池。经计算，按此功率可工作 **64min**，即清洗 **400 m²** 网衣。

太阳能基站使用一块功率 200w、额定电压 36V、额定电流 5.5A 的太阳能板。经计算，太阳能板**最快 160min** 充满此电池，机器人不作业时长期停靠在水下常驻基站中补充电能，故非特殊情况不需要额外供电。

JR-CVPS10 和本项目网衣清洗机器人对比如表 2-3。

表 2-3

产品	JR-CVPS10 小型空化射流清洗机	本项目研发的 水下网衣清洗机器人
功率	10KW 电机或者 13 马力柴油机	310W (且可太阳能充电)
额外能耗	每次清洗前需起重机更换网衣、工作船运输网衣	无
清洗 100m² 耗时	1h	16.6min
清洗 100m² 耗能	10 度电或 1.8L 柴油	0.086 度电

最高清洗频率	3-4月一次	每隔160min一次
--------	--------	------------

综上，使用网衣清洗机器人清洗网衣，可有效减少单次清洗能耗，增加清洗频率，保持网衣一直无附着物附着。

此外，水下机器人可通过定期人工或自主巡航，监测网衣附着情况，使得网箱养殖公司对网衣使用情况和鱼类养殖情况一直保持了解，及时制定清洗计划并配合远程平台、数据分析系统完成数字化的作业、分析，进一步提高工作效率。

2.9 系统的创新点

2.9.1 预防式清洗的方法

人工清洗、空化射流清洗等传统清洗方法如图 2-57，清洗思路为：先附着再清洗的恶性循环，如图 2-59。

本团队提出的系统（如图 2-58）通过水下常驻、太阳能充电、自主航行实现了整体系统“预防网衣被附着”的良性循环的清洗思路（如图 2-60），通过在附着物附着初期实时清洗，解决了空化射流法先附着后清洗、需打捞网衣的问题，达到了预防网衣被附着、保持网衣常态清洁的效果。

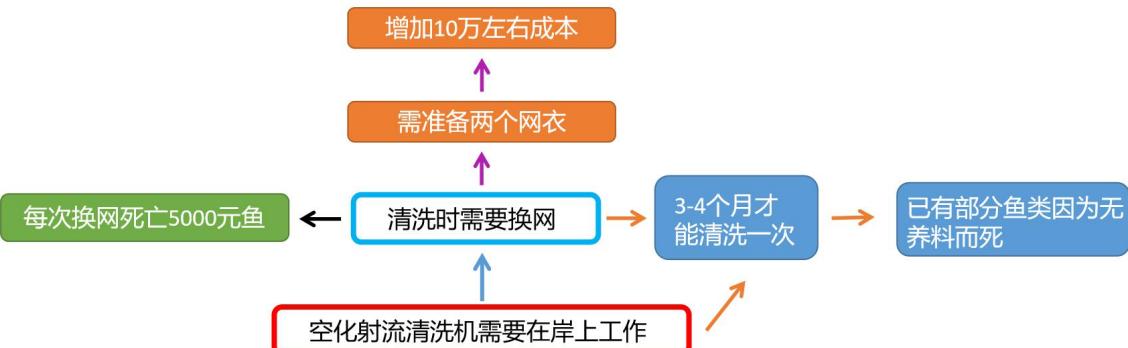


图 2-57

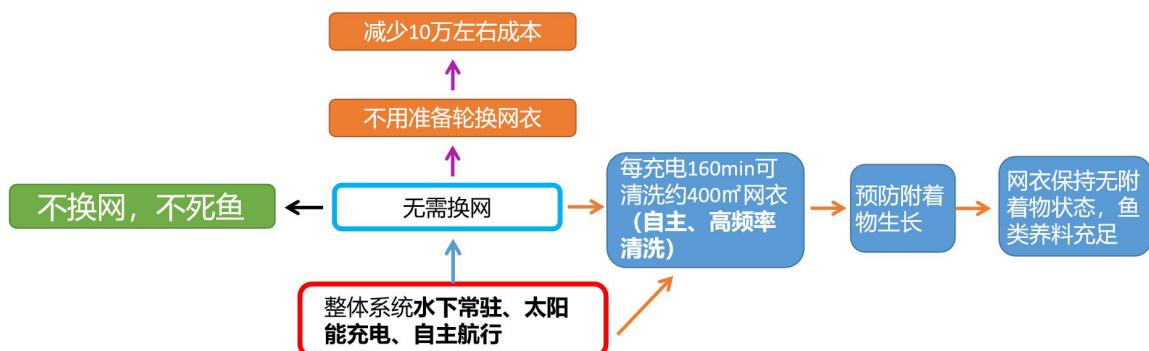


图 2-58



图 2-59

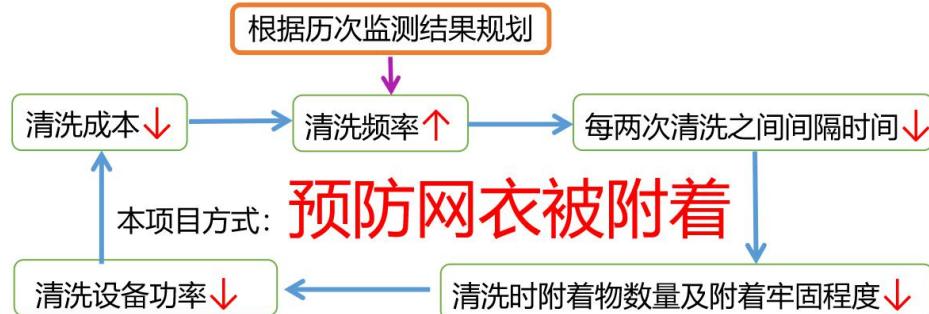


图 2-60

2.9.2 基于远程监控平台的直播式交互系统

团队开发了基于远程监控平台的直播式交互系统，解决了传统先操作后汇报方式反馈慢的问题，提供了远程观看作业直播的条件，实现了专家的实时讨论与指导。

与传统方式交互模式对比如图 2-57。



图 2-60

传统水下机器人需现场操作人员通过上位机控制，位于公司的领导、专家无法实时观看机器人图像、姿态，无法根据实时反馈的图像、数据讨论并进行远程指导。

本团队设计的机器人可通过远程监控平台实时观看作业直播，方便专家远程通过观看实时图像、机器人姿态、附着物图片、记录的数据和生成的可视化表格，给出养殖、网衣使用建议。实时指导与讨论增强了专家与现场操作人员的交流效果，便于专家对网衣情况和养殖情况作出更精确的判断。

2.9.3 图像处理与数据分析相互补充的信息处理模式

通过图像处理系统和数据分析系统互补，收集每一次监测、清洗的图像与数字信息并将自动生成的表格、数据分析图、附着物截图呈现给用户，用以规划本海域近期网衣清洗和养殖的计划。

与传统方式交互模式对比如图 2.57



图 2-61

2.9.4 自给式的能源供给模式

本项目中机器人不作业时长期停靠在水下常驻基站中，通过太阳能基站充电。如果进行按指定路径的自主航行，则无需人员到场搬运机器人，可通过远程监控平台远程控制机器人离开常驻基站，自主航行结束后再远程操作机器人进入基站。

由太阳能基站、水下常驻基站共同实现系统的自给式能源供给模式，解决了传统设备需充电或更换电池的问题，使系统可以能源自给、长期稳定运行。

与传统方式对比如图 2-57。



图 2-59

此外，用户可以考虑在水下常驻基站或机器人上定制安装各类型传感器，进行长期定点或网箱内整体环境的监测，充分利用其长期在水下停靠、作业的特性。

2.10 后续新产品研发思路

2.10.1 继续对浅海深水网箱养殖进行市场、应用方面调研并进行产品试验

团队开发的以网衣清洗机器人为核心的网衣监测、清洗系统，瞄准近海深水网箱的网衣监测、清洗的市场，具有应用方向较单一但市场容量大、市场专业性强、产品科技含量高、国内暂无本领域技术相近的竞争对手等特点。

由于目标市场在网络上报道、数据较少，且全部分布于沿海城市或乡镇，故只有安排技术人员进行实地调查、与养殖公司负责人面对面交流、亲自观看甚至体验近海深水网箱养殖和网衣清洗过程，才能更好地了解网箱养殖公司的实际需求，进而根据用户需求设计更有应用价值的产品。

由于目前处于新冠疫情期间，原定的寒假提前返校计划被迫取消，甚至整个春季学期都无法返校。根据目前情况，团队通过电话询问、调研家乡所在地养殖公司的方法，咨询累计 13 家公司与中国海洋大学工程学院、水产学院教授。调研包括网箱养殖、网衣制造、空化射流清洗等方面。团队所有成员 7 月 27 日返校（但不能出校），将继续利用线上调研方式，争取扩大调研区域（主要调研山东、福建、海南等养殖大省），增加对市场的了解，为日后研发新技术打下基础。开学后拟进行外出调研，实地走访网箱养殖企业。

团队目前已找好所有零件生产厂家并联系好加工相关事宜，如表 2-3，7 月 27 日返校后已经开展制作工作。力争在 2-4 周内完成机器人机械部分的装配，在

3-5 周内完成机器人调试工作。在学校实验室测试无误后联系与中国海洋大学有合作关系的网箱养殖公司进行试验，从而进一步完善项目。

2.10.2 对网衣清洗机器人的“模块化”改进与推出新版本

为适应全海域（近海、深远海）、中国不同地区的作业区域，适应近海深水网箱、深远海网箱的用户，我团队后期拟进行对于机器人的“模块化”改进与推出新版本。

中国海岸线长度约 1.8 万 km，海域包括渤海、黄海、东海、南海，拥有庞大的、需求不同的客户群体。随着纬度的变化，海域水质、气候也随之变化，使得不同地区藻类、贝类生长的种类、比例不同。通过调研得知：中国海域网箱养殖贝类附着率普遍高于北欧（挪威等养殖大国），海南地区网衣附着物中贝类比例较高，山东地区网衣附着物中贝类比例相对海南较低。所以，将机器人拆解为动力模块、主体框架模块、清洗模块、姿态调节模块四大模块，每个模块设计多种结构，针对不同海域客户进行基于目标海域附着物情况的调研并进行定制安装，可以使产品覆盖面更广。

同时，团队可根据调研结果、机器人销售情况与用户反馈，改进并推出新版本机器人，保持技术与产业始终紧密结合，持续扩大经营范围、占领市场。

模块化改进与推出新版本思路图如图 2-62。

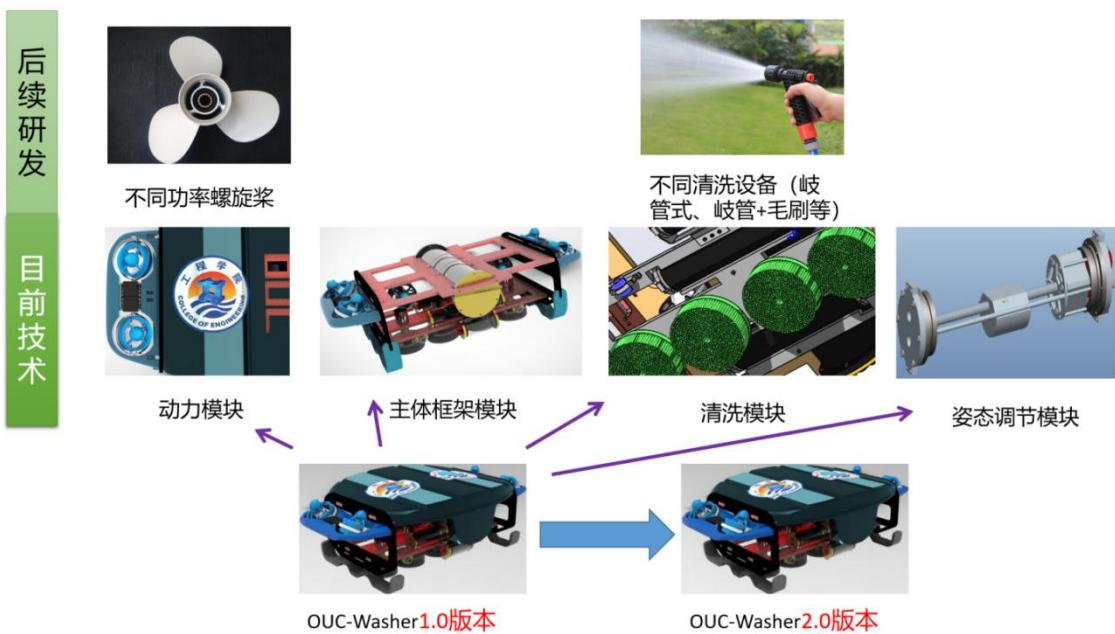


图 2-62

2.10.3 提出新的远程监控、控制方式

机器人目前利用电脑端远程监控平台进行远程监控、远程控制，利用手柄进行现场控制。后期可以考虑开发手机 APP 等安装于移动设备上的监控平台、控制设备，最大限度为用户提供便利，简化网衣清洗操作时的复杂性。

2.10.4 研发新的扩展软件

网箱养殖过程中，网衣清洗问题最为严重、要害。但同时其他问题如鱼类生长情况不能实施监测、网衣破网不能实时预警等，也会大大降低网箱养殖的经济效益并提高养殖风险程度。

目前一些养殖公司通过网衣下水前预先在网衣上安装摄像头的方法，对网箱内鱼类进行监测。但由于水下环境较浑浊、摄像头视角有限、需安装多部摄像机、摄像机故障无法维修等因素使用效果不佳。一些养殖公司定期高价聘请潜水员下水检查网衣有无破损（网衣出现小面积破损后会因鱼的冲击在短时间内造成较大破损），但这种方式价格高昂，使得绝大多数公司无法负担，只适用于小部分高利润鱼类养殖网箱。

目前，机器人已经可以通过自主航行或人工控制+远程监控+图像处理+数据分析的方式定期监测网箱内鱼类生长情况、网衣有无破损。但远程控制中心工作人员可能由于长时间面对电脑屏幕观测网衣情况造成的视觉疲劳，从而不能发现较小的网衣破损情况。

基于现有设备和本设备的问题，团队准备开发基于深度学习的网衣破损检测系统，利用计算机视觉辅助人眼，更好的完成对网衣的监测。同时，在机器人上增加水质监测仪等传感器模块，结合鱼类活性与传感器数据，辅助专家对网箱内鱼类生长情况做出更准确的判断。

各扩展软件可捆绑优惠售卖或单独无优惠售卖，最大程度让产品向市场进军的同时，为客户提供更优质的服务。

2.11 系统耗材的统计

系统耗材的统计主要分机械、控制、手柄三部分，包含整体系统的所有非软件部分。已经列出所有耗材、找好所有厂家，7月27日返校后已经开始了系统的制作。到校后2至4周完成制作，再用3至5周完成所有调试，后期将在中国海洋大学水池进行试验并联系网箱养殖公司进行海试。

系统耗材统计如表 2-3。

表 2-4

OUC-Washer 净网小分队耗材表									
项目名称：以网衣清洗机器人为核心的网衣监测、清洗系统				项目负责人：杨宇腾 收货人：杨宇腾 指导老师：刘贵杰、周丽芹					
序号	品名	规格	购买要求	数量	单位	单价	金额	用途	相关链接
机械结构部分									
1	舵机固定架	35*30*10	铝合金。还可以再砍价	8	个	30	240	舵机和支撑板之间固定	鸿利信五金塑胶制品 13612953070
2	摄像头铝合金支座 1	25*8*15	铝合金	1	个	120	120	摄像头固定	鸿利信五金塑胶制品 13612953070
3	摄像头间连接	30*50*1.5	铝合金	2	个	80	160	夹紧固定摄像头	鸿利信五金塑胶制品 13612953070
4	后摄像头连接件 1	27*22*60	铝合金	1	个	220	220	摄像头固定	鸿利信五金塑胶制品 13612953070
5	后摄像头连接件 2	131*19*1.5	铝合金	1	个	60	60	摄像头固定	鸿利信五金塑胶制品 13612953070
6	摄像头间装架铝合金支架 2	70*19*12	铝合金	1	个	60	60	摄像头固定	鸿利信五金塑胶制品 13612953070
7	水平板上	620*472*12	pp/pe。还可以再砍价	1	个	不计单价 960	ROV 上板	兴顺源塑胶制品 15914767147	
8	水平板下	620*260*12	pp/pe	1	个			兴顺源塑胶制品 15914767147	
9	侧板	423*237*10	pp/pe	2	个		ROV 側板	兴顺源塑胶制品 15914767147	
10	轴承连接架	79*32*10	pom	4	个		连接螺旋桨部分与 ROV 主体	兴顺源塑胶制品 15914767147	
11	矢量螺旋桨支撑板	110*73*10	pom	2	个		连接螺旋桨部分与 ROV 主体	兴顺源塑胶制品 15914767147	
12	螺旋桨套	125*108*10	不锈钢	4	个	180	720	用于将螺旋桨与舵机、轴承连接	浩程旗舰店(微信 xu.jun19881986)
13	铜块	定制	黄铜	2	个	145	290	重浮心调节块	https://item.taobao.com/item.htm?spm=a230r.1.14.116.4087644_01L17wK&id=613549725114&ns=1&abbucket=11#detail
14	rovmaker 耐压仓盖	外径 60 (无孔)	亚克力	3	个	13	87	重浮心调节仓和摄像头仓	https://item.taobao.com/item.htm?spm=a1z0d.6639537.19971966_01.195.7cd7748458CqQV&id=535816276717
15	rovmaker 耐压仓盖	外径 60 (两孔)	亚克力	3	个	13	87	重浮心调节仓和摄像头仓	https://item.taobao.com/item.htm?spm=a1z0d.6639537.19971966_01.195.7cd7748458CqQV&id=535816276717
16	rovmaker 耐压仓法兰	外径 60	亚克力	6	个	100	600	重浮心调节仓和摄像头仓	https://item.taobao.com/item.htm?spm=a1z0d.6639537.19971966_01.185.7cd7748458CqQV&id=535814796436
17	亚克力管	外径 60*200	亚克力	2	个	40	80	重浮心调节仓两个	https://item.taobao.com/item.htm?spm=a1z0d.6639537.19971966_01.205.7cd7748458CqQV&id=550653192241
18	一体式丝杆电机	身长 32 轴长 150 轴 Tr8*2		2	个	208	416	重浮心调节仓推铜块	https://item.taobao.com/item.htm?spm=a1z0d.6639537.19971966_01.129.21797484QTYNxh&id=599791979267
19	防水电机	长轴防水电机 (定制轴长变为 20)		4	个	408	1632	毛刷转动	https://item.taobao.com/item.htm?spm=a1z0d.6639537.19971966_01.227.21797484QTYNxh&id=606601129109

以网衣清洗机器人为核心的网衣监测、清洗系统

20	梅花联轴器	外径 25 长度 35		6	个	20	120	毛刷轴与电机轴的固定	https://detail.tmall.com/item.htm?spm=a1z0d.6639537.1997196_601.304.21797484QTYNxh&id=559951315515
21	止推轴承	内径 6 外径 14 厚度 5		6	个	1.57	9.42	保护电机轴	https://detail.tmall.com/item.htm?spm=a1z0d.6639537.1997196_601.4.6b417484Fh8W7V&id=611583133649&skuId=4476720586142
22	90° 防水舵机	IPX8 防水工业级舵机高压版		5	个	422	2110	ROV 竖直推进器的矢量控制	https://item.taobao.com/item.htm?spm=a1z0k.7385961.19979850_97.d4918997.12843d7bvhWSAs&id=597062364257&u=t2dmg8j26111
23	180° 舵机(不防水)	蓝箭 S03611 超小型舵机		2	个	22	44	放置于 ROV 摄像头防水舱内，用于摄像头的转动	https://item.taobao.com/item.htm?spm=a1z0k.7385961.19979850_97.d4918997.cae13d7bryntb&id=563483303468&u=t2dmg8j26111
24	毛刷	定制毛刷(新星制刷)		2	个		300	清洗网衣	微信联系厂家工厂定制（邱文兵，百益制刷有限公司，13074056839）
25	舵机配件(舵盘)	25T 金属舵盘金属舵臂 JXFutabaII itechHD		2	个	2.5	15	固定舵机与螺旋桨	https://item.taobao.com/item.htm?spm=a230r.1.14.16.4a182877_NjhJHE&id=545864211659&ns=1&abbucket=15#detail
26	电池	12V 锂电池大容量电池组		1	个	865	865		https://item.taobao.com/item.htm?spm=a1z0k.7385961.19979850_97.d4918997.cae13d7brFaauH&id=593874942836&u=t2dmg8j26111
27	摄像头	索尼 FPV 摄像头 IMX238FH8 520		1	个	106	106	ROV 水下摄像头	https://item.taobao.com/item.htm?spm=a1z0k.7385961.19979850_97.d4918997.cae13d7bryntb&id=566864446789&u=t2dmg8j26111
28	水下照明灯	水下机器人 ROV 照明 防水深度 100 米探照灯		1	个	60	60	ROV 水下灯	https://item.taobao.com/item.htm?spm=a1z0k.7386009.0.d49192_33.beeb3d7bKyMAZY&id=595883507744&u=t2dmg8j26111
29	轴承	小轴承微型滚珠防 水轴承 608Z		3	个	15.48	46.5	连接螺旋桨套和轴承 连接架	https://detail.tmall.com/item.htm?id=610624556363&spm=a1z0k.6846577.0.0.be13d7bSExAYW&u=t2dmg8j26111&sku_properties=122276018:20213
30	耐压舱控制板	337*115*6 pp/pe		1	个	180	180	耐压舱的控制板	兴顺源塑胶制品 15914767147
31	耐压舱过线板	120*120*6 pp/pe		2	个	60	120	耐压舱过线连接	兴顺源塑胶制品 15914767147
32	双头六棱螺柱 1	M3*35+6		12	个	1.3	15.6	耐压舱内部支撑板子	https://detail.tmall.com/item.htm?spm=a1z0d.6639537.1997196_601.26.32ec7484tlwsn8&id=15597886091&skuId=30749260619
33	双头六棱螺柱 2	M3*25+8		30	个	1.3	39	耐压舱内部支撑板子	https://detail.tmall.com/item.htm?spm=a1z0d.6639537.1997196_601.17.32ec7484tlwsn8&id=600459062374
34	双头六棱螺柱 3	M3*6+8	不单卖一次只卖 30 (实际需要 4 个)	30	个	1.3	39	耐压舱内部支撑板子	https://detail.tmall.com/item.htm?spm=a1z0d.6639537.1997196_601.17.32ec7484tlwsn8&id=600459062374
35	双头六棱螺柱 4	M3*25+6		16	个	0.34	5.44	耐压舱内部支撑板子	https://detail.tmall.com/item.htm?spm=a1z0d.6639537.1997196_601.26.32ec7484tlwsn8&id=15597886091&skuId=30749260618
36	螺旋桨			4	个	599	2396	用于推进	https://item.taobao.com/item.htm?spm=a230r.1.14.44.40074fb5_h30B3x&id=591590866855&ns=1&abbucket=2#detail
37	水下常驻基站	不规则形状	单板制作+焊接+上色 涂漆	1	个	1200	1200	水下常驻基站的结构 部分	https://m.tb.cn/h.VrcTSvR
38	太阳能基站的结构部分	不规则形状	pp 块直接切割	1	个	400	400	太阳能基站的结构部 分	https://m.tb.cn/h.VrcTSvR
39	重心调节舱、 摄像头舱舱体	160mm	从 rovmaker 直接购买	3	个	130	390	舱体	https://item.taobao.com/item.htm?spm=a1z10.5-c-s.w4002-2238_6633007.22.5ce2491651Fp5j&id=550653192241

以网衣清洗机器人为核心的网衣监测、清洗系统

40	主控舱舱体部分	定制	从 bluerov 定制, pom 材质	1	个	2100	2100	舱体	https://item.taobao.com/item.htm?spm=a1z10.5-c-s.w4002-17036387516.14.4c987504EDqrS9&id=551012930998
41	不防水舵机	35kg 标准版		2	个	88	176	驱动太阳能板旋转	https://item.taobao.com/item.htm?spm=a230r.1.14.34.4ea17ffcVBSQUL&id=601923278668&ns=1&abbucket=2#detail
42	太阳能板			1	个	355	355	获取太阳能	https://m.tb.cn/h.Vsb7IRZ
机械结构部分合计									16823.96
控制部分									
43	模拟摄像头	2.8mm 焦距		1	个	108	108		深圳市蓝天科技
44	视频分配器			1	个	37	37		分配器分割工厂店
45	模拟显示屏	七寸家用监控		1	个	99	99		天宏数码电子
46	无线网桥	2 公里版本		1	个	177	177		bydigital 友讯普专卖店
47	bnc 转 av			3	个	4.3	12.9		深蓝电脑配件线材店
48	视频采集卡			1	个	23.76	23.76		岱亨电子
49	无线串口	HC-12		2	个	19.8	39.6		汇承 HC 蓝牙
控制部分合计			497.26						
手柄部分									
50	无档按键	直径 11.5mm	1 号	20	个	1.13	22.6	手柄按键	荣域华府旗舰店
51	有档按键	19*6.5mm	二号	5	个	1.16	5.8	手柄按键	荣域华府旗舰店
52	数码管	82*15*11.5		2	个	4.5	9		深圳美芯电子元器件
53	推杆			3	个	5.38	16.14		risym 旗舰店
54	外壳	不规则		1	个	230	230		暂定是使用学校创新中心设备 3D 打印, 不额外花钱
手柄部分合计									
合计									
17559.8									

3 商业计划与盈利分析

3.1 市场定位

通过对市场的细分与仔细研究，选取近海深水网箱（与岸边距离不超过 10km）作为本项目的第一目标市场。以近海深水网箱为第一个突破口，打开网衣清洗、监测的市场。

团队首先定位于服务青岛及威海等山东地区水产养殖公司，在建立一定的市场知名度后逐步向福建、海南等其他水产养殖大省拓宽业务。

通过后期完善产品、推出不同版本的机器人、扩展软件等功能，继续向深远海网箱养殖、超大型海洋牧场的网衣监测、清洗市场迈进，力求以网衣清洗机器人为核心，打造更完善、更适合中国客户的全套网箱监测、清洗方案。

3.2 近海深水网箱的市场规模

随着生活水平的提升，中国人民对于新鲜、高质量海产品的需求明显上升。深水网箱养殖的鱼类活性好、产量高，受到消费者青睐，所以我国深水网箱养殖规模近几年逐年扩大且前景广阔。

截至 2019 年，海南省近海深水网箱发展至 1.4 万口，圈养水体 855 多万立方米，年总产量约 14 万吨，产值约 50 亿元；广东全省拥有近海深水网箱 1800 多箱，投影面积约 50 万平方米，养殖水体 270 万立方米，全国总计约 5 万口，经过调研与计算，目前我国网衣清洗市场总量达到 30 亿元以上。山东、福建等水产养殖大省也相继出台相关政策，鼓励、扶持网箱养殖、网箱养殖配套设备生产企业，吸引投资。

3.3 企业发展

为将产品推向市场，我团队决定成立公司，以求寻找进一步发展的契机。

3.3.1 企业概述

(1) 公司名称与 LOGO

公司名称：OUC-Washer 海洋清洗设备有限公司

公司 logo 如图 3-1，形状类似网衣和鱼类，寓意团队专注于水产养殖领域。



图 3-1

(2) 企业定位

*行业：海洋装备制造业

*性质：中小型高新技术企业

*目标客户：主要是针对近海深水网箱养殖公司

*业务范围：公司成立初期主要研发、生产和销售以网衣清洗机器人为核心的网衣监测、清洗系统，随着公司不断发展继续开发其他服务于网箱养殖的产品。

3.3.2 对于市场的开发策略

对于市场的开发策略主要分为市场渗透、市场开拓、市场占领、市场稳定四个阶段。具体策略见表 3-1，渤海区域市场分布图与全国市场分布图如图 3.2、3.3。

表 3-1

(一) 市场渗透阶段	<ul style="list-style-type: none"> ①依托中国海洋大学水产学院、工程学院在网箱养殖方面资源进行市场拓展 ②无偿为与中国海洋大学合作的网箱养殖企业进行清洗积累经验、完善技术 ③以低成本、高效率等为竞争优势尝试进入青岛地区市场 ④争取在两年之内获得青岛地区近海深水网箱 30%以上的市场份额
(二) 市场开拓阶段	<ul style="list-style-type: none"> ①团队以青岛地区作为大本营区域，在大本营区域拥有相对完善的销售渠道和服务分支机构，团队拥有一定的市场地位 ②采取线上线下相结合的方式完善产业销售模式 ③进入环渤海地区，如日照，威海、大连等地区，逐渐在环渤海地区形成辐射式的影响力
(三) 市场占领阶段	<ul style="list-style-type: none"> ①对机器人实行批量生产降低成本，适当降低价格，继续占领市场 ②利用各地海洋大学的支持以及加入渔业协会获取相应资源的方式，逐渐发展黄海市场、东海市场以及南海市场
(四) 市场稳定阶段	<ul style="list-style-type: none"> ①由于本公司产品的面世与取得的有目共睹的清洗效果，势必会有一些公司开发性能相近的产品与我公司竞争市场 ②进一步研发扩充软件包并适当降低软件包费用，稳定老客户 ③加强与网衣生产公司的合作，在新成立的养殖公司或已有养殖公司开辟新养殖场时优惠促销本系统，持续为客户群体注入新鲜血液。 ④扩大公司运营规模，尝试运用水下机器人技术研发新的产品

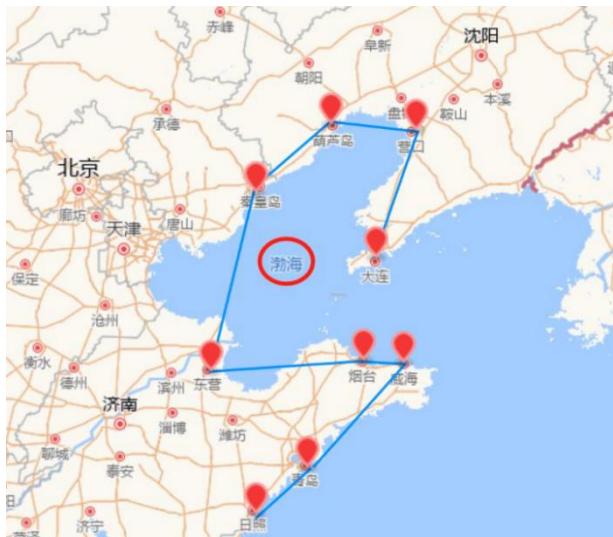


图 3-2



图 3-3

3.3.3 企业发展与经营战略

(1) 前期准备——2020 年 12 月前

- ①团队项目属于国家级大学生创新项目，2020 年底前争取入驻中国海洋大学孵化基地。
- ②本创业组自筹资金 200 万；向银行申请中期贷款 10 万，借期 2 年；另外，再引入风险资金 190 万。上述资金主要用于企业筹建工作和营销、生产的投入。
- ③充分进行市场分析和调查，继续完善项目，并得出基本市场需求和定出企业合理的生产量。

(2) 后期筹备——2021 年 5 月前底

- ①在青岛高新技术产业开发区工商分局办理工商登记手续，注册成立“OUC-Washer 海洋清洗设备有限公司”，注册资本为 400 万，并申请为高新技术产业企业类型。
- ②寻找质量过关、价格合理、交通便利的代加工厂，并签定合作协议，由我方负责技术指导，代加工厂提供设备和人力，我方负责最后支付代工厂生产费用。
- ③采购原料和投入生产，预备生产 10 台机器人及配套系统。
- ④安排专门人员联系青岛近海深水网箱养殖公司，签订相关协议，对于有明确购买意向的客户，在预付定金后购买时享受一定程度的优惠。

(3) 正式运营——2021 年 6 月到 2021 年 6 月底

- ①各种销售渠道的展开；产品正式投入市场。
- ②与用户保持密切联系，充分听取用户使用后的反应，结合具体技术进行产品的升级与改进。

(4) 步入正常运作——2021年7月到2021年12月底

①2021年下半年，在青岛地区进一步开拓市场，赢得比较高的知名度。

②12月份在青岛申请产业化项目配套资助25万，作为团队的运营资本的补充。

(5) 不断发展巩固——2022年1月到2023年12月底

①全面打开山东省市场，从青岛市辐射到日照、烟台、威海等城市；并且计划在省内形成日照—青岛—烟台区域销售中心。

②逐步探索省外市场，以中国海洋大学为平台，联系海南、福建等水产大省的高校、水产研究所，了解不同地区附着物情况，针对性改进产品并为与当地高校有合作的网箱养殖企业展开合作。

(6) 继续扩大发展——2023年12月到2031年12月底

①资产结构重组，成为一家拥有核心技术竞争力的中型网衣清洗高新技术企业。风险投资退出。

②继续稳定扩大在国内市场的份额，以山东地区为核心，向沿海城市继续扩张。考虑在网箱养殖大省寻找代理经销商或建立直营仓库，并在当地配备相关技术人员。

3.4 销售、营销的方式与计划

3.4.1 综述

团队提出以网衣清洗机器人为核心的网衣监测、清洗系统。整个系统由可选人工操作或自主航行的水下机器人、水下常驻基站、太阳能基站、控制手柄、远程监控平台、图像处理系统、数据分析系统组成。系统组成如图3-4。

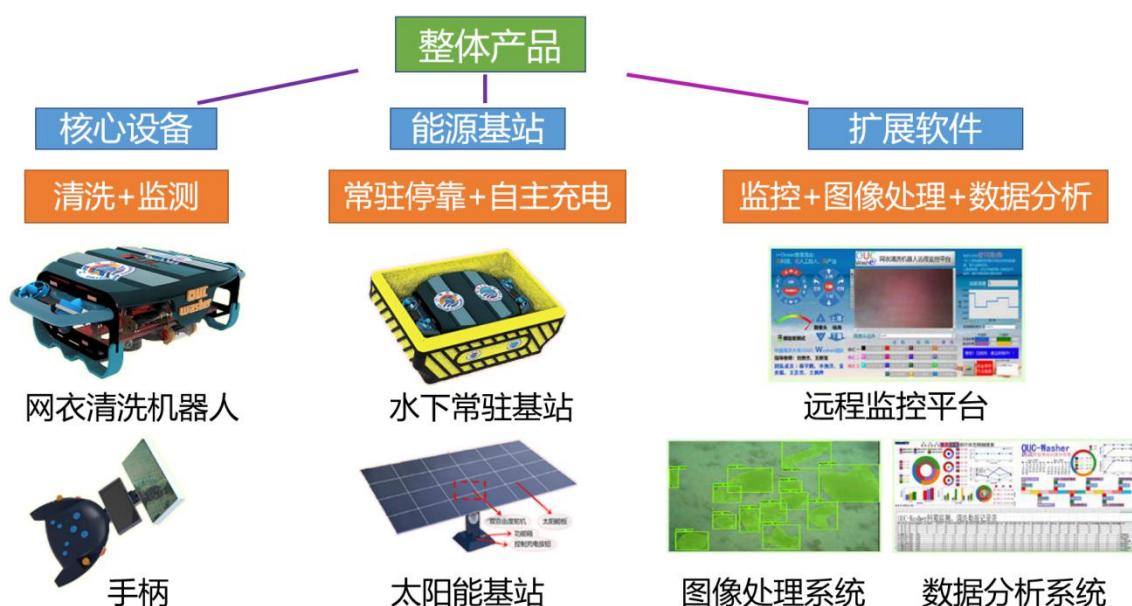


图 3-4

团队定位在近海深水网箱养殖市场，养殖呈现规模化、集中化的态势，客户特点为：群体数量少、专业性强、对机器人行业接触较少。

团队将立足于中国海洋大学的优势，直接与和中国海洋大学有相关合作的网箱养殖公司进行联系，通过直接售卖核心设备、能源基站、扩展软件获得利润。在积累了一定的经验、产品和品牌具有一定知名度后拓展其他地区的市场时，将考虑进入当地的渔业协会，利用协会资源以及已有的清洗成功案例与当地的养殖公司取得合作。

由于不同养殖公司需求、经济实力、对产品的信赖程度不同，以整体系统销售的方式会丧失一部分客户。基于此问题，我团队提出了“核心设备+能源基站+扩展软件”的销售模式，“新技术免费尝新+服务多样化”的销售策略，激励用户购买全套系统，同时与网衣生产公司达成合作，互利共赢，继续提高产品知名度和打开市场。

通过加强与目标市场的沟通联系、与高校展开技术合作的方式，持续保持团队技术与市场的贴近与和团队的活力、创新性。

3.4.2 “核心设备+能源基站+扩展软件”的销售模式

在“核心设备+能源基站+扩展软件”的销售模式中，核心设备为网衣清洗机器人、手柄；能源基站指水下常驻基站、太阳能基站、后期考虑增加的搭载在水下机器人上的水质检测仪等；扩展软件指远程监控平台、图像处理系统和数据分析系统以及后期考虑开发的识别破网系统、鱼类活性识别系统、远程监控 APP 等。

“核心设备”、“能源基站”、“扩展软件”可由用户选择其中的产品组合购买，不同组合有不同类型的优惠（详见“新技术尝新+服务多样化”的营销策略）。

3.4.3 “新技术尝新+服务多样化”的营销策略

在“新技术尝新+服务多样化”的营销策略中，为了鼓励客户购买全套系统，对购买不同产品不同部分的客户提供不同的服务。具体服务与营销策略如表 3-2。

在为客户提供定制服务、跟进网衣清洗进度的过程中，最大程度为客户提供方便，同时可以增加技术人员对网箱养殖行业的了解，为日后开发新产品打下基础。

表 3-2

购买的产品	核心设备	核心设备+能源基站	核心设备+扩展软件	整套系统
远程维修服务次数	3	3	4	6
工程师咨询	√	√	√	√
新产品的尝新试用		√	√	√
一定程度免费定制				√
工程师专门服务跟进进度				√
优惠(元)	无	1000	2000	4500

3.4.4 加强与网衣、网箱生产公司的合作

团队计划和网箱、网衣生产企业进行合作，在该企业销售网箱、网衣设备的同时进行网箱清洗机器人的推荐，后期与网箱生产企业进行利润分成。

该营销方式直接抓住了目标客户群体，尤其是新成立的网箱养殖公司。本营销方式可使得一些新成立的网箱养殖公司养成使用本系统清洁网衣的习惯，也使得团队可以直接与目标客户群体进行商谈，达成合作目的，使得本项目可以在我国东部沿海地区自北向南实现快速的推开，实现公司战略目的。

3.4.5 加强与目标市场的沟通、联系

项目盈利初期，限于团队人员、资金等因素，主要以山东（尤其青岛、威海等地）为市场。通过对青岛以及周边地区进行市场调研，安排专人对各大渔业养殖中心、网箱养殖公司开展**实地走访**，向当地负责人介绍本系统，并为其提供一次**免费试用的机会**，以实际效果打动顾客，从而提升产品的知名度，推销产品，达到企业盈利目的。

当项目积累了一定的资金后，团队可通过中国海洋大学的平台，联系位于福建、海南等水产养殖大省的高校，如厦门大学、海南大学等。通过**与高校的学术、产业交流**，率先为与高校有合作关系的水产养殖公司提供价格低、时间长的租赁服务与购买的价格优惠，吸引公司购买，从而逐渐打开当地市场。同时，结合当地大学、研究所多年对于当地网箱附着物情况的研究与统计（当地生长的贝类、藻类的种类及其比例、生物特性），**优化机器人清洗结构、功率**，最大程度适合当地水质环境，为用户提供更优质的服务。

当团队经营范围继续扩大后，可考虑在全国不同省份设立经销商，按照一定比例与经销商分发利润，进一步拓宽全国的市场。

3.4.6 与高校展开技术合作

与中国海洋大学、山东大学、海南大学、厦门大学等高校水产养殖、机械工程、自动化等专业的实验室开展合作，发挥高校在技术上的优势与团队在产业化

应用上的优势，共同研发更贴近市场的技术、帮助高校完成科技成果的转化，并利用高校与养殖公司之间的联系，在当地养殖公司进行试验与产品的推广。同时，在校内开展以科普知识为主题的相关讲座，并邀请社团媒体进行报道，在为广大学子带来福利的同时，提升品牌知名度与社会美誉度。

3.5 产品成本的计算

每一套系统的成本由生产成本、营销成本、管理成本组成。

第一款产品的生产成本为 17559.8 元，但第一款产品所有加工件（铝合金连接件、不锈钢连接件等）都为定制，在产品投入量产后的整体成本也将降低约 2000 元左右。综上，**预计量产后的系统总体生产成本为 15957.26 元**。系统不同部分成本明细表如图 3-5。

不同产品的生产成本明细表							
	网衣清洗机器人	手柄	水下常驻基站	岸上太阳能基站	通讯设备	远程监控平台、数据图像处理系统、数据分析系统	总计
第一款产品	14693	238.54	1200	931	497.26		17559.8
第二款产品	13500	60	1100	800	497.26	软件，无生产成本	15957.26

图 3-5

项目初始运营阶段营销成本约 10000 元，由团队成员完成营销，主要包括在营销过程中往返于各高校与养殖公司过程中的差旅费、试用机器人费用等。**中期运营阶段**考虑向全国扩大产品销售区域时需与各地经销商达成协议，初步计划营销费用为 20000 元。

管理成本主要来自为客户赠送的备用零部件的费用、工程师远程答疑、工程师远程维修等费用。用户购买产品后，可享受 3 到 5 次免费维修服务（服务次数与购买的产品类型相关，详见“新技术尝新+服务多样化”的营销策略），不限次数工程师免费答疑服务。用户使用免费维修服务时，由网箱养殖公司、本团队成员成立的公司分别提供来、回邮费，共约 1000 元（每次 200 元），加上更换零件所需费用、工程师因远程答疑而造成加班等费用，**总共最多约合 8000 元**。

综上，产品成本为生产成本、营销成本、管理成本总和。假设用户购买整套系统，产品成本为：**初始运营阶段合计 35599 元，中期运营阶段合计 43957 元**。

3.6 产品价格、利润预期

3.6.1 产品的定价

产品的定价主要参考产品成本、现有市场上网衣清洗机、国外网衣清洗机器人、人工清洗等方式的费用，力求为消费者提供优质服务、低价的同时增加公司收益。

将系统分为：“核心设备”、“能源基站”、“扩展软件”三个部分，各部分定价如表 3-3。用户可自由选择其中的产品组合购买，不同组合有不同类型的优惠，优惠明细如表 3-4。

特殊说明：表格中网衣清洗机器人成本已包含系统所有营销成本、管理成本。手柄价格由于研发时 3D 打印和量产后批量生产价格差异较大，故取 100 元为手柄成本。远程监控平台为软件，无生产成本，但其正常工作需要无线网桥、无线串口等通讯设备，故成本为 497 元。

表 3-3

部分名称	目前已有的产品	成本	售价	利润	正在考虑开发的产品
核心设备	网衣清洗机器人	32693	90000	57207	网衣清洗机器人的其他模块
	手柄	100			
能源基站	水下常驻基站	1200	5000	3800	搭载于水下机器人上的水质监测仪等
	岸上太阳能基站	931	15000	14069	
扩展软件	远程监控平台	497	3000	2503	识别破网系统、鱼类活性识别系统、远程监控 APP 等
	附着物图像识别系统	0	4000	4000	
	数据分析系统	0	3000	3000	
合计	系统所有部分	35421	120000	84579	暂不估计售价

表 3-4

产品组合	定价说明
核心	按正常售价售卖
核心设备+能源基站、扩展软件中 1 或 2 款	产品售价相加后优惠 1000 元
核心设备+能源基站、扩展软件中 3 或 4 款	产品售价相加后优惠 2500 元
核心设备+能源基站、扩展软件中 5 款	产品售价相加后优惠 4500 元

3.6.2 产品预计销量与净利润

产品投入市场前四年预计销量与利润预估如表 3-5。为持续保持技术的创新性、技术与市场的紧密联系，团队计划将每年 25%以上的盈利应用于新产品的研发。

表 3-5

	第一年	第二年	第三年	第四年
产品销售区域	探索销售模式，以青岛地区，辐射山东半岛	改进销售模式，主要为山东地区，探索福建、海南市场	形成较稳定的销售模式，以山东为核心辐射福建、海南市场	形成稳定销售模式，以山东、福建、海南为核心辐射全国
产品预计销量	15	40	60	90
销售收入	1268658	3383160	5074740	7612110

4 优劣势对比分析与解决方案

4.1 综述

在本部分中，团队通过对网箱养殖公司、空化射流设备公司、挪威爬网清洗机器人公司中国地区代理商共计 13 家公司的相关工作人员进行咨询了解到大部分情况，剩余资料来自咨询中国海洋大学水产学院教授与网络搜索。经过总结、对比、分析与模拟清洗预算，得出结论。

4.2 国内目前清洗方式与各自优劣势

国内清洗方式与本项目概述如表 4-1，国内清洗方式优势、劣势分析如表 4-2。

表 4-1

清洗方式	清洗方式占比	清洗流程	清洗频率与效率
人工清洗	约 10% 以下，已经被大部分公司淘汰	①准备两个网衣轮换使用 ②清洗工人乘坐船前往网箱养殖基地，先安装无附着物网衣再拆下旧网衣 ③将旧网衣运回岸边 ④至少 10 人花费 4h 完成 100m ² 网衣手工敲打清洗	3-4 月一次 约 4h 清洗 100m ² 网衣
涂防附着漆	技术不成熟，基本无公司使用	①准备一个网衣，下水前涂抹防附着漆 ②下水后为保护漆面，不能进行清洗	不能进行清洗
高压水枪或空化射流清洗	约 80% 以上	①准备两个网衣轮换使用 ②清洗工人乘坐船前往网箱养殖基地，先安装无附着物网衣再拆下旧网衣 ③将旧网衣运回岸边 ④至少 5 人(其中操作手需专门培训)花费 1.5h 完成 100 ² 网衣的空化射流清洗	3-4 月一次 约 1.5h 清洗 100m ² 网衣
本系统	暂未开始售卖	①作业前水下长期停靠+自主充电 ②作业中自主巡航或手柄控制+远程监控+图像识别 ③作业后自动截图、数据记录，自动分析	自主充电、随时清洗 每 16.6min 清洗 100m ² 网衣

表 4-2

清洗方式	优势	劣势
人工清洗	①单次清洗过后的网衣很干净，无任何附着物 ②清洗方式为暴晒+手工敲打清洗，工作人员不需要培训可直接上岗	①单次耗费 10 人以上人力，成本较高 ②清洗效率低，4h 可清洗 400 平方米网衣 ③需额外准备更换用的额外网衣，成本增加 7-8 万元 ④每次更换网衣都会造成约 5000 元收益的鱼因为剐蹭网衣、不适应新网衣环境而死亡 ⑤洗网频率较低，为 3-4 月一次，在此过程中已经有部分鱼类因为网孔堵塞无法获取养料而死亡

涂防附着漆	①网衣下水后几周之内防附着效果极好	①涂抹防附着漆几周后效果大打折扣，附着物逐渐增多 ②涂抹防附着漆后不能进行清洗，以免附着漆损失
高压水枪或空化射流清洗	①单次清洗过后的网衣很干净，无任何附着物 ②相比较人工清洗，耗费更少人力	①单次耗费 5 人以上人力，成本较高 ②清洗效率较低，1.5h 可清洗 400 平方米网衣 ③需额外准备更换用的额外网衣，成本增加 8 万元左右 ④每次更换网衣都会造成约 5000 元收益的鱼因为剐蹭网衣、不适应新网衣环境而死亡 ⑤设备操作有一定危险性，工作人员需经过相关培训后方可上岗 ⑥洗网频率较低，为 3-4 月一次，在此过程中已经有部分鱼类因为网孔堵塞无法获取养料而死亡 ⑦设备功率较大，只能将网衣拖回岸边清洗，不适合在海上作业

通过对三种不同清洗方式的清洗流程、优劣势对比，尤其关注占现有网箱清洗 80% 市场的高压水枪或空化射流清洗方式，可以总结得出目前国内网衣清洗方法主要问题如表 4-3。

表 4-3

①	人工成本较高
②	清洗效率较低
③	需准备额外网衣，增加成本 7-8 万元且换网过程中造成经济损失
④	清洗频率较低，造成一定程度经济损失
④	设备功率较高、有一定的危险性

4.3 挪威爬网清洗机器人在中国市场的困境

相比于国内，国外（尤其北欧，如挪威等养殖大国）开展近海深水网箱养殖的时间更早，更早认识到网衣清洗对于网箱养殖整体经济效益的重要性。

挪威开发了多款爬网清洗机器人，目前进入中国市场有大型清洗机器人 Racemaster（如图 4-1）和小型清洗机器人 Terminator 系列（如图 4-2）。



图 4-1

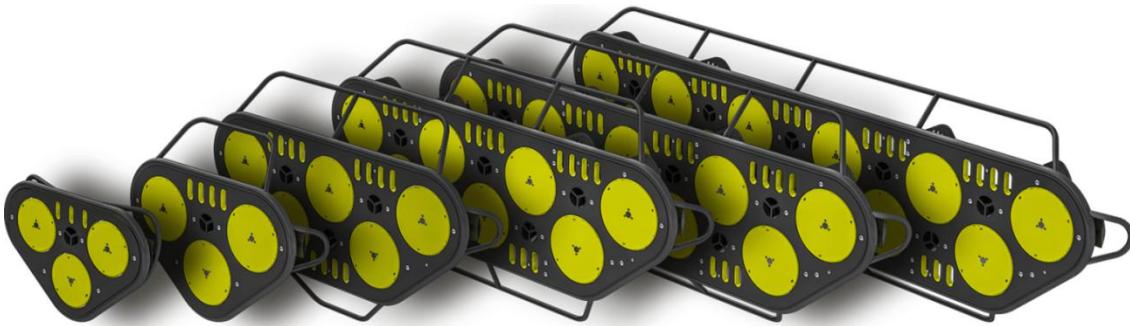


图 4-2

团队成员与两款机器人在中国的代理经销商，北京泰富坤科技销售经理取得了联系并开展调研，最终总结出国外网衣清洗机器人在中国的应用困境。

首先，国外网衣清洗机器人价格昂贵、维修困难。Terminator 系列中最小型号售价为 40 万元左右，系列中其他型号与 racemaster 的价格在 40 到 200 万元之间。挪威网箱养殖主要以深远海大型网箱、超大型海洋牧场为主，养殖三文鱼等高利润鱼类，养殖公司有充足的资金购买昂贵、实用效果好的网衣清洗机器人。虽然 Terminator 系列和 racemaster 的清洗海域为全海域，但其更适用于深远海高利润养殖公司，中国绝大多数近海深水网箱养殖企业无法负担高额的机器人价格。此外，挪威相关网衣清洗机器人公司未在中国开设生产线和建立分公司，由于国内零件的制作标准、制作流程与国外不同，造成产品的维修困难。

其次，国外网衣机器人的清洗模式不适应中国海域条件。由于水文、气候等因素，挪威地区网箱养殖过程中藻类附着情况比贝类严重，而我国网箱养殖过程中贝类附着情况比藻类严重，且两地藻类、贝类生物种类不同导致其具有不同的附着能力。Terminator 与 racemaster 机器人搭载的转盘式喷水清洗装置更多考虑清除挪威海域环境下的藻类附着物，在中国网箱内清洗大量贝类实际测试时机器人贴网航行速度小于 20m/h，效率极低。

此外，国外网衣清洗机器人 Terminator 系列和 racemaster 均采用结构扁平化设计，滚轮式、履带式贴网方式，在贴网时通过滚轮、履带使其在网衣上行走。但其不能在开阔水域航行，本质上不是一款 ROV，而是搭载清洗设备的水下爬网机器人，不能进行网箱的监测任务，功能较为单一。

综上，国外网衣清洗机器人在中国没有成功探索出可盈利的运营模式。第一，因为价格昂贵、维修困难等因素，没有从事近海深水养殖的中国公司选择购买设备；第二，挪威相关网衣清洗机器人公司没有在中国配备技术服务保障、操作团队，导致中国代理商无法提供租用机器人服务；第三，Terminator 系列和 racemaster 价格昂贵，结构复杂，原本维护网箱的技术工人限于学历、经验等因素操作、维护机器人有一定的损坏的风险，养殖公司需专门聘请专业操作手和专业维修人员，增加了人力成本。

综上，国外网衣清洗机器人在中国应用困境主要如表 4-4。

表 4-4

①	价格昂贵，维修困难
②	不适应中国海域条件
③	没有可盈利的运营模式
④	功能单一，只能清洗不能监测

4.4 本项目与国内清洗方式的对比和与挪威爬网清洗机器人的对比

4.4.1 本团队研发的项目总述

本团队设计了一款以网衣清洗机器人为核心的网衣监测、清洗系统。整个系统由水下网衣清洗机器人、控制手柄、水下常驻基站、太阳能基站、远程监控平台、图像处理系统、数据分析系统组成。

系统功能为：

- ①在附着物附着初期自主、高频率清洗网衣，有效预防附着物的生长，保持网衣上无附着物。
- ②通过定期巡航，监测网衣的状态与附着情况。
- ③不作业时机器人在水下长期停靠并自主充电，实现能源自给。
- ④在远程观看作业直播，专家和领导可以实时对作业过程和网衣状况进行指导与讨论。
- ⑤收集每一次监测、清洗的数据并将自动生成的表格、数据分析图、附着物截图呈现给用户，用以规划本海域近期网衣清洗和养殖的计划。

作业流程图如图 4-3。

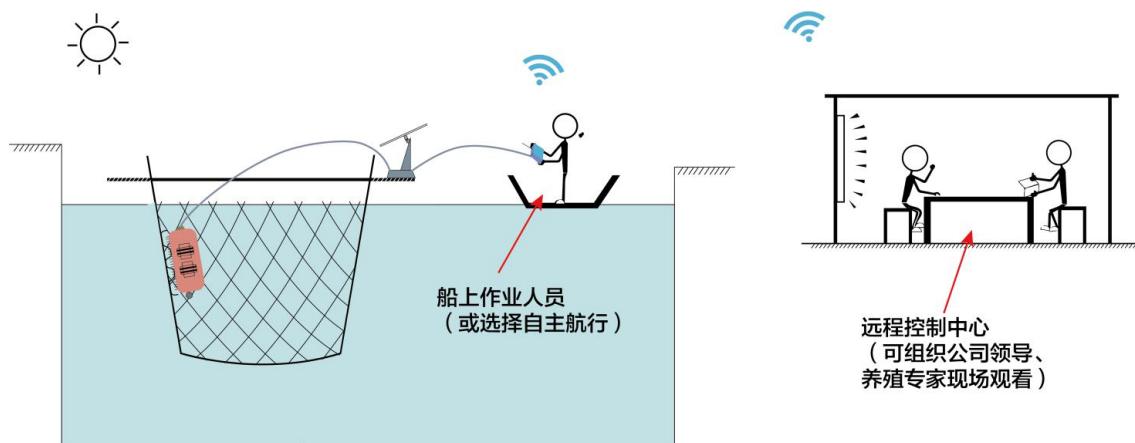


图 4-3

4.4.2 本团队项目与国内清洗方式的对比

将本项目与目前占国内网箱清洗 **80%** 市场的高压水枪或空化射流清洗方式进行对比，优势对比表、劣势对比表分别如表 4-5、表 4-6，模拟运营分析如表 4-7。

表 4-5

编 号	高压水枪或空化射流清洗方式 劣势	本项目 优势 （对应的解决方案）
1	至少需 5 人操作，人工成本高	操作模式有以下三种，最多需要 2 人 ①机器人自主航行+1 人远程监控 ②1 人用手柄控制机器人+无人远程监控 ③1 人用手柄控制机器人+1 人远程监控
2	清洗效率低，约 1h 可清洗 100 m ²	清洗效率高，16.6min 清洗 100 m ²
3	需准备 2 个网衣，增加 7-8 万元成本，并在换网过程中造成经济损失、人力成本	准备 1 个网衣，由水下机器人进行水下清洗作业
4	3-4 月清洗一次，清洗频率低，造成一部分鱼类死亡	太阳能基站+水下常驻基站+自主航行的水下机器人，最频繁每隔 160min 清洗超过 400 m ² 网衣，支持频繁清洗，持续保持网衣无附着物，持续保持鱼类养料充足
5	设备功率为 10kw 或 55kw、有一定危险性，需专门培训方可上岗	机器人可以在附着物附着初期频繁清洗，故不需大功率清洗设备，功率为 310W。机器人控制过程中无危险性，且专家可通过远程监控平台远程监控、指导，提高清洗效果降低机器人损坏风险。
6	价格较高，从 15 万元到 100 万元不等	价格 12 万元，且减少用于替换的网衣 7-8 万元的费用
7	只能清洗，不能监测网衣使用情况	通过自主航行或手柄操作的方式完成定期网衣监测，及时发现网衣破损等安全隐患

表 4-6

编号	本项目 劣势	高压水枪或空化射流清洗方式 优势	解决方案
①	国内基本目前没有投入使用的网衣清洗机器人，用户对机器人行业普遍不了解，产品投入市场初期知名度较低，造成对本项目提出系统的初始信任度较低。	国内多家公司形成垄断地位，具备较完整的销售渠道，客户信任度高	通过免费使用、低价长期租用、现场介绍、拍摄演示视频等方式，让用户实际体验本系统带来的便捷、低价、高效
②	目前团队立足青岛，只能靠来回邮寄产品、派遣技术与销售人员等方式完成产品维修与营销	垄断公司已在全国各个养殖大省设立分销机构、维修服务中心	以青岛为核心逐渐辐射山东地区，在再以山东为核心辐射全国，逐步拓展市场

③	<p>本项目机器人功率低，建议进行长期自主清洗以“预防网衣被附着”，对已经形成牢固且大面积附着的网衣进行清洗时将耗费较长时间</p>	<p>设备功率高，可以对已经形成牢固且大面积附着的网衣进行彻底清洗</p>	<p>①向用户系统介绍团队研发的系统，让更多用户养成“预防网衣被附着”的科学养殖习惯。 ②中国近海深水网箱养殖处于蓬勃发展期，年增长率接近25%，不断有大量新公司成立。应更注重向新公司宣传本系统，使其养成“预防网衣被附着”的习惯，进而占领市场。 ③通过将清洗系统模块化的方式，日后的机器人可搭载小功率清洗设备（如毛刷）或更换大功率清洗设备（如高压水枪、空化射流等）。</p>
---	--	---------------------------------------	--

表 4-7

产品名称	1 以网衣清洗机器人为核心的网衣监测、清洗系统	2 人工清洗	3 JR-CVPS10 小型空化射流水下清洗机	4 JR-CVPS55 大型空化射流水下清洗机
产品图片				
假定清洗面积	100 m²			
所用时间	16.6min	约 4h	约 1h	约 1h
清洗方式	水下毛刷转动	岸上暴晒+人工敲打	岸上空化射流清洗	岸上空化射流清洗
所需人力	最多两人	大于 10 人	大于 5 人	大于 5 人
能耗与总体功率	310W	无能耗，但需要运输船来回运输工人	10kw 电机或 13 马力柴油机+运输船来回运输工人	55kw 电机或 75 马力柴油机+运输船来回运输工人
具体能耗	0.086 度电	运输船能耗	10 度电或 1.8L 柴油+运输船能耗	55 度电或 14.4L 柴油+运输船能耗
特殊要求	建议机器人自主航行时安排人员远程监控	需要人工更换网衣		
购买或租赁价格	购买： 12 万元 租赁：租赁仅在市场开拓时期提供，价格较低，以获取用户信任为主，不以盈利为目标	仅需简单工具如锤子、改锥等	购买： 20 万/台 租赁： 8 万/次 ，（包含所有设备、人工、运输船成本）	购买： 40 万/台 租赁： 10 万/次 ，（包含所有设备、人工、运输船成本）
预计三年内养殖公司总花费	无更换网衣费用 无换网人工成本 无养殖损失 12 万+2 人人工费	至少 10 人人工费用	设备 20 万+更换网衣 8 万+换网、养殖损失 2.5 万+人工费（五人）=30.5 万+5 人人工费	设备 40 万+更换网衣 8 万+损失 1.5 万+人工费（五人）=49.5 万+5 人人工费

4.4.3 本团队所研发项目的清洗方式与挪威爬网清洗机器人的对比

目前，挪威公司设计、生产的网衣清洗机器人在国内尚未应用。结合其在应用和技术上的优势、劣势与我团队研发的以网衣清洗机器人为核心的网衣监测、清洗系统优势、劣势对比，得出优势对比表 4-8 和劣势对比表 4-9。

表 4-8

编号	挪威爬网清洗机器人劣势	本项目优势（对应解决方案）
1	价格 40-200 万，且维修困难	①系统总价格 12 万 ②产品线位于中国，维修便利
2	清洗模式不适用于中国海域条件	①通过远程监控+图像处理+数据分析的创新交互方式，将附着情况、作业情况数据化记录并分析，探索最适合本地的清洗计划。 ②根据中国海域附着物种类、比例开发，后期准备继续与山东、海南、福建等养殖大省的水产养殖研究机构合作，广泛开展调研，进一步提升对国内市场的适应性。
3	中国地区无相关技术人员，客户不能租赁机器人	团队立足山东青岛，欢迎全国网箱养殖户低价租赁试用机器人
4	价格昂贵，养殖公司需额外聘请专业人员操作、保养	①价格较低，上手容易。 ②产品后期保障齐全，赠送最多 5 次免费维修服务 ③通过远程监控平台可以对机器人进行远程操作、监控，方便专业人员在办公室指挥非专业操作人员
5	功能单一，只能清洗	①完成网衣清洗作业 ②完成网衣监测作业 ③远程监控、图像识别、数据分析，提升渔业自动化程度，保证清洗的效果好、网衣破损状态实时掌握、对鱼类情况实时掌握，多方位提升网箱养殖经济效益。

表 4-9

编号	本项目劣势	挪威爬网清洗机器人优势	解决方案
1	目前只针对近海深水网箱开发，虽然市场前景巨大但无法覆盖网箱养殖全部市场	虽由于价格等因素在国内近海深水网箱上无法应用，但技术上可以在近海、深远海网箱、超大型海洋牧场上的全方位应用	团队应先以近海深水网箱养殖公司为主要客户，公司发展壮大后再考虑改进或推出新产品，开拓深远海网箱、超大型海洋牧场的市场
2	本项目机器人功率低，建议进行长期自主清洗以“预防网衣被附着”，对已经形成牢固且大面积附着的网衣进行清洗时将耗费较长时间	机器人功率高，可以对已经形成牢固且大面积附着的网衣进行彻底清洗	①向用户系统介绍团队研发的系统，让更多用户养成“预防网衣被附着”的科学养殖习惯 ②中国近海深水网箱养殖处于蓬勃发展趋势，年增长率接近 25%，不断有大量新公司成立。应更注重向新公司宣传本系统，使其养成“预防网衣被附着”的习惯，进而占领市场。 ③通过将清洗系统模块化的方

		式，日后机器人可搭载小功率清洗设备（如毛刷）或更换大功率清洗设备（如高压水枪、空化射流等）。
--	--	--

5 团队成员介绍及具体分工

团队共8人，来自6个不同的专业（如表5.1），工作时考虑任务多样性和专业性的同时，能有效进行交流，充分发挥各自专业技术优势，最终共同完成整体系统的设计工作。

目前，团队已经形成完整的技术方案，通过分工调研，对近海深水网箱养殖的市场有了一定的了解并与多家公司负责人取得联系。后期，团队会向量产继续迈进，也会邀请更多商学、法学、财务相关专业人员加入团队，合力打造项目的市场应用。

姓名及照片	成员简介	任务分工
杨宇腾 (队长) 	<p>中国海洋大学2018级船舶与海洋工程本科生。</p> <p>高中获北京市青少年科技创新大赛一等奖，大一参加全国海洋航行器设计与制作大赛A类，大二获山东省机器人大赛二等奖，获得科创奖学金一次。</p> <p>对科技创新有浓厚兴趣，性格开朗乐观善于与人交流，对于机械结构、外形优化设计、软件编写都有一点了解，可较熟练运用SolidWork绘图，运用python、C、G语言编写相关程序。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ①作为团队队长，组织、协调全组进度，负责各种汇报工作等。 ②完成25%左右机械机构部分的设计 ③完成远程监控平台的软件编写工作 ④完成数据分析系统的软件编写工作 ⑤与王浩男、王炳烨共同完成机器人能耗功率的选择与计算 ⑥对水产养殖相关企业进行调研
李澳阳 (结构方面负责人) 	<p>中国海洋大学2018级机械设计制造及其自动化本科生。</p> <p>大一参加过全国海洋航行器设计与制作大赛D类（模型制作类），主要负责二维图的建立。</p> <p>能熟练运用了proe、cad等三维和二维绘图的软件，熟练运用ANSYS进行有限元分析。参加过学校智能车培训，了解一些单片机的知识，可以在进行结构设计的时候更好的考虑到控制方面的问题。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ①完成75%左右机械机构部分的设计 ②完成项目所需的ANSYS有限元分析 ③营销方式的构思与调研

<p>王浩男 (控制方面负责人)</p>	<p>中国海洋大学 2018 级自动化本科生。</p> <p>曾参加过智能车培训与第八界全国海洋航行器设计与制作大赛智能航行类 C 类（智能航行类），获校第一名并入围国赛。掌握了专业相关的多种编程、电路设计等软件的使用</p>	<p>①与王炳烨一起完成网衣清洗机器人、太阳能基站、手柄的硬件、软件设计并合力编写有自主巡航功能的机器人下位机。 ②整合、选择此项目需用的传感器。 ③与杨宇腾、王炳烨共同完成机器人能耗功率的选择与计算</p>
<p>王炳烨</p> 	<p>中国海洋大学 2018 级自动化本科生。</p> <p>已经学习了自动化多门课程，参加过智能车的培训和比赛，具备对控制模块设计和调试的一定基础，对硬件搭配、安装、拆解以及对软件的设计适配感兴趣并且具备一定能力，掌握了专业相关的多种编程、电路设计等软件的使用。</p>	<p>①与王浩男一起完成网衣清洗机器人、太阳能基站、手柄的硬件、程序设计并合力编写有自主巡航功能的机器人下位机。 ③与杨宇腾、王浩男共同完成机器人能耗功率的选择与计算</p>
<p>宋奕聪</p> 	<p>中国海洋大学 2018 级工业设计本科生。</p> <p>已经可以熟练使用犀牛、keyshot 建模渲染软件。具有较强的理科思维，高中曾获全国数学竞赛省级二等奖。正在参加互联网+大赛、工业设计大赛、3D 建模大赛，对科技创新有较高的热情和参与度。</p>	<p>①完成项目中所有外形设计、平面设计的工作，包括：机器人浮体外形的设计、机器人螺旋桨保护套设计、手柄外形设计、水下常驻基站外形设计、太阳能基外形设计、协助杨宇腾完成远程监控平台 UI 界面的设计、公司 logo 的设计。 ②了解企业运作，构思团队成立企业以后的发展。</p>

<p>张昊 (视觉算法负责人)</p> 	<p>中国海洋大学 2018 级电子信息工程本科生。</p> <p>加入中国海洋大学信息学院水下图像处理实验室一年，学习了水下图像处理、深度学习相关知识，参与实验室多个项目的研究工作。目前正在参加国家级创新项目，研究机械手控制相关课题。</p>	<p>①与杨澍、李博林合力完成图像处理系统的设计与试验工作。 ②对网箱养殖、网衣清洗机相关企业进行调研</p>
<p>杨澍</p> 	<p>中国海洋大学 2018 级电子信息工程本科生。</p> <p>加入中国海洋大学信息学院水下图像处理实验室一年，学习了水下图像处理、深度学习相关知识，参与实验室多个项目的研究工作。目前正在参加国家级创新项目，研究机械手控制相关课题。</p>	<p>①与张昊、李博林合力完成图像处理系统的设计与试验工作。 ②对挪威爬网清洗机中国代理商展开调研</p>
<p>李博林</p> 	<p>中国海洋大学 2018 级电子信息科学与技术本科生。</p> <p>加入中国海洋大学信息学院水下图像处理实验室一年，学习了水下图像处理、深度学习相关知识，参与实验室多个项目的研究工作。目前正在参加国家级创新项目，研究机械手控制相关课题。</p>	<p>①与张昊、杨澍合力完成图像处理系统的设计与试验工作。 ②对网箱养殖公司、水下机器人公司展开调研 ③企业发展部分的调研与构思</p>

6 结语

我国渔业已从副业成长为经济的重要产业。当前渔业供给总量充足，但发展不平衡、不协调、不可持续的问题也非常突出，必须大力推进渔业转型升级。2016年5月，农业部印发《关于加快推进渔业转方式调结构的指导意见》，明确提出要“正确处理渔业发展‘量的增长’与‘质的提高’的关系，将发展重心由注重数量增长转到提高质量和效益上来”。由此，我国渔业走上转型升级之路。

习近平总书记指出要关心海洋、认识海洋、经略海洋。从“让我国海洋生态环境有一个明显改观”，到“发展海洋经济、海洋科研”，再到“建设强大的现代化海军”，习近平总书记为深耕蓝色国土指明方向，推动我国海洋强国建设不断取得新成就。

习总书记强调，必须把科技创新摆在全国全局的核心位置。适应和引领我国经济发展新常态，关键是要依靠科技创新转换发展动力。国家将围绕产业链部署创新链，提高科技供给的质量，加快科技成果转化，打通从科技强到产业强、经济强、国家强的通道。

我团队通过实际调研、咨询专家等方式掌握近海深水网箱养殖产业存在的问题，通过自主研发的人工操作或自主航行的水下机器人、水下常驻基站、太阳能基站、控制手柄、远程监控平台、图像处理系统、数据分析系统组成“以网衣清洗机器人为核心的网衣监测、清洗系统”，力求用科技手段，使渔业可持续发展，提升渔业自动化水平。

团队以科技创新为核心驱动力，且时刻保持与产业之间的紧密联系。相信在未来，随着中国人民全面迈入小康，对生活品质的追求进一步提升，同时在我国加大对科技创新的投入和对高新技术公司的支持下，团队能够逐渐扩大公司运营范围，增加运营模式和产品，向海洋清洗领域不断迈进，为祖国的建设添砖加瓦。

参考文献

- [1] 陈俊池,刘祚时,陈俊华,陈炫光.基于 CFD 模拟的单点系泊船型网箱浮架结构分析与设计[J].海洋科学,2020,44(04):116-123.
- [2] 孙刚,王亚飞,王鑫江,温林翰,郁洪澳.“智慧”海洋网箱平台的开发设计与研究[J].科技创新与应用,2020(09):34-35+38.
- [3] 袁太平,胡昱,王绍敏,陶启友,刘海阳,黄小华,郭根喜.养殖网箱网衣清洗设备喷嘴的设计及力学特性分析[J].渔业现代化,2020,47(02):16-24.
- [4] 袁太平,胡昱,王绍敏,陶启友,刘海阳,黄小华,郭根喜.养殖网箱网衣清洗设备喷嘴的设计及力学特性分析[J].渔业现代化,2020,47(02):16-24.
- [5] 满晓东,宋协法,黄志涛,董登攀.转盘式网箱清洗装置设计与模拟试验[J].渔业现代化,2019,46(06):22-28.
- [6] 闫国琦,倪小辉,莫嘉嗣.深远海养殖装备技术研究现状与发展趋势[J].大连海洋大学学报,2018,33(01):123-129.
- [7] 刘冠灵,卫泓宇,李志鹏,李德荣,李日辉.履带式深海网箱清洗机器人的设计[J].机械制造,2019,57(04):11-14.
- [8] 宋玉刚,郑雄胜.深海网箱网衣清洗系统设计研究[J].机械研究与应用,2012,25(02):41-43+46.
- [9] 黄小华,郭根喜,胡昱,陶启友.轻型移动式水下洗网装置设计[J].渔业现代化,2009,36(03):49-52.
- [10] 宋协法,贾瑞,马玉霞.涡旋水流式网箱清洗设备的设计与实验[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2006(05):733-738.
- [11] 刘杰.高压网衣清理机的原理与应用[J].渔业现代化,2004(03):28.