

中国海洋大学本科生研究发展计划

项目申报书

项目编号			
项目名称	驭浪光卫——自适应重心漂浮式海上光伏运维机器人		
项目负责人	王理想	联系电话	17860753257
所在学院	信息科学与工程学部		
学号	21020006111	专业班级	2021 级电子信息类 3 班
指导教师	陈琪		
E-mail	2819757172@qq. com		
申请日期	2023. 11. 16		
项目期限	一年期		

中国海洋大学教务处



中国海洋大学

填写说明

1. 本申请书所列各项内容均须实事求是，认真填写，表达明确严谨，简明扼要。
2. 申请人可以是个人，也可为创新团队，首页只填负责人。“项目编号”一栏不填。
3. 本申请书为大 16 开本（A4），左侧装订成册。可网上下载、自行复印或加页，但格式、内容、大小均须与原件一致。



一、基本情况

项目名称	驭浪光卫——自适应重心漂浮式海上光伏运维机器人						
所属学科	学科一级门： 学科二级类： 电子信息类						
项目来源	<input type="checkbox"/> A、学生自主选题，来源于自己对课题的长期积累与兴趣 <input checked="" type="checkbox"/> B、学生来源于教师科研项目选题 <input type="checkbox"/> C、学生承担社会、企业委托项目选题 <input type="checkbox"/> D、拔尖专项 <input type="checkbox"/> E、竞赛专项 <input type="checkbox"/> F、研修专项						
申请金额	30000 元	项目期限	一年期	拟申报项目级别		校级	
负责人	王理想	性别	男	民族	汉族	出生年月	2003 年 6 月
学号	21020006111	联系电话	宅：中国海洋大学西海岸校区听海苑 3 栋 206 手机： 17860753257				
指导教师	陈琪	联系电话	宅：中国海洋大学西海岸校区工程学院 手机：1560450683 2				
项目简介		针对山东省海上光伏建设工程行动方案中提出的漂浮式海上光伏建设，本项目组拟打造一款能够适应漂浮式海上光伏环境的光伏运维机器人；该机器人学习人体遇坡面自适应重心调整现					



		象，利用项目组所设计的 360 度重心偏移装置适应海上多风浪环境，并将搭载两栖上岸模块实现海洋与光伏跨越，且能够利用视觉与自洁式清理结构对光伏板上的污渍以及裂痕进行识别与处理，实现国内外海上光伏运维机器人的突破。				
负责人曾经参与科研的情况		曾参与过学院 SRDP。				
指导教师承担科研课题情况		结构动力学，压电智能传感及振动噪声控制。				
指导教师对本项目的支持情况		支持，能够给项目组提供实验室，并能提供如 3D 打印机，切割机等一系列设备，指导老师所带领的研究生也能提供视觉识别方向的技术支持。				
项目组 主要成员	姓名	学号	学院	专业班级	联系电话	项目分工
	张中禹	22090022053	工程学院	2022 级机械设计制造及其自动化 2 班	16643361515	机器人渲染美化、项目宣传设计
	王理想	21020006111	信息科学与工程学院	2021 级电子信息类 3 班	17860753257	电路设计以及电路板绘制

	孙健	21050005072	信息科学与工程学 部	2021 级电 子信息类 5 班	15591965828	单片机控制
	李田秋阳	21050005038	信息科学与工程学 部	2021 级计 算机类 5 班	13791331610	视觉算法、图像处 理
	胡吉晔	22090032011	工程学院	2022 级港 口航道与 海岸工程 1 班	19854296300	机器人建模与制作
指导教 师	姓名	工号	学院/单 位	职称	联系电话	电子邮件
	陈琪	2022143	工程学院	讲师	15604506832	qichen@ouc.edu.cn

二、 立项依据（可加页）

（1）研究目的

在“双碳”政策的推动下，山东省颁布了海上光伏建设工程行动方案，该方案表明山东省将积极稳妥推动漂浮式海上光伏发展，重点结合海上风电规划建设，创新打造“风光同场”一体化开发模式，逐步扩大漂浮式光伏建设规模，并推动其向深远海海域发展。

近年来，海上光伏取得空前发展的同时，如何对海上光伏进行运维的问题却始终没有得到相应的关注与解决。海上光伏板由于处在全露天的环境当中，无可避免的会有海鸟鸟粪，海水蒸发而产生的结晶附着在光伏板上，而这些污渍会影响光伏板的发电效率，甚至于影响光伏板的安全，造成光伏板损坏；并且在多海浪环境中，光伏板底部会受到来自涌浪带来的作用力，从而导致光伏板产生裂痕；而如今市面上的光伏运维机器



人大多是针对陆上光伏，而陆上光伏具有平整、集中、易于维护的特点，针对陆上光伏所设计的机器人大多没有考虑如何维持机器人平衡，如何精准清理等问题；难以适应海洋多风浪、难维护的环境；海上光伏运维依然面临着地形受波浪影响大、设备维护难、自动化要求高、节能减排要求大等问题。

针对漂浮式海上光伏的运维需求，本项目组拟打造一款运维机器人用以完成海上光伏板的清理，检修任务，实现当前海上光伏运维机器人的突破。



图 1 全球首个深远海风光同场漂浮式光伏项目

(2) 研究内容

2.1 研究内容与对应功能：

1) 针对海上光伏环境崎岖不平问题，机器人将搭载仿人体遇坡面重心自适应系统，机器人可以通过利用姿态传感器检测所在平面坡度与坡面方向，并根据所得信号对自身重心进行调整，始终保持机器人自身稳定，防止倾倒从而适应海浪光伏环境。

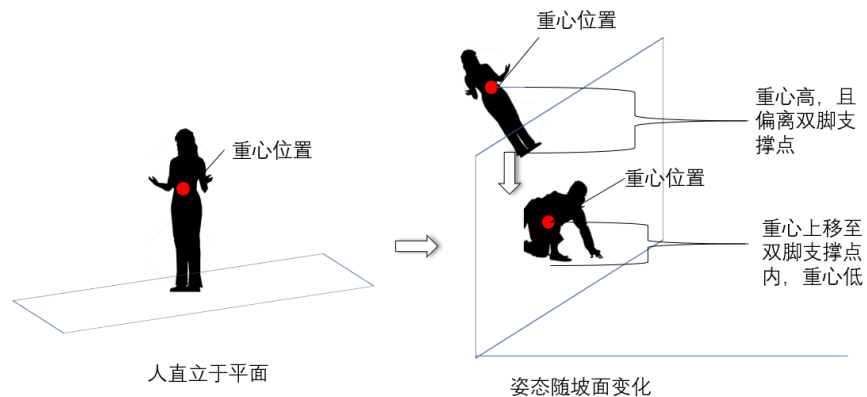


图 2 人体遇坡面重心调整过程

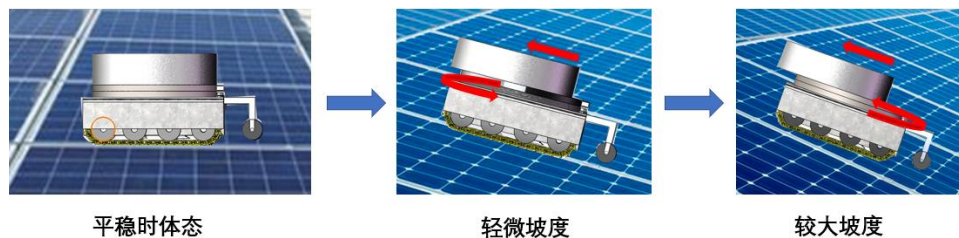


图 3 仿人体遇坡面重心调整过程

2) 针对海洋光伏投放的问题，项目组设计了一套两栖上岸结构，能够实现机器人从海洋向光伏电厂的登陆功能。

3) 机器人检测功能：机器人将利用视觉检测识别光伏污渍如鸟粪、盐晶等、光伏裂痕，并能够对污渍进行清理，并对光伏板损坏坐标进行上传。

2.2 基本思路与方法

针对以上目标，机器人整体将运用船型结构，在内部设立重心偏移系统，该系统分别为偏移盘，中转盘以及主体底盘；中转盘能够通过自转与滑块推动相结合实现对偏移盘360度方向移动以达到重心偏移效果；机器人将利用两栖上岸系统实现海-板跨越；同时机器人将利用树莓派进行图像处理，实现目标检测功能。

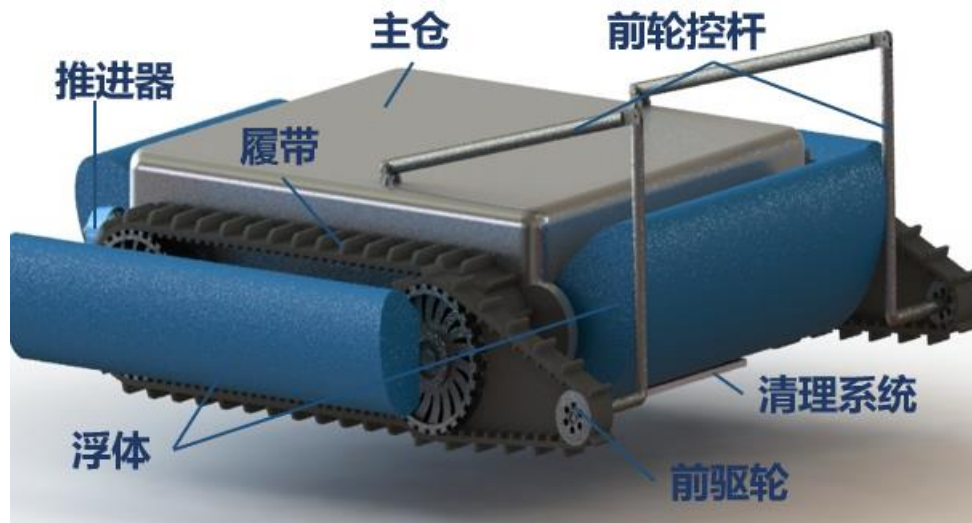


图 4 海上光伏运维机器人

(3) 国、内外研究现状和发展动态

海上光伏在世界范围内仍处于发展阶段，在国内，山东省与 2022 年发布了一系列政策推动海上光电的发展，共布局海上光伏场址 31 个，总装机规模 1930 万千瓦，而其他沿海地区也在不断跟进过程当中。

在国际上，新加坡政府在柔佛海峡部署了 5MW 的海上漂浮电站，该项目已于 2021 年上半年建成竣工，目前运行良好。其是全球规模最大的海上漂浮式光伏系统之一，该系统预计每年可生产约 602 万千瓦时的电力，约等于 1250 个四房式组屋一年的用电量，且能减少 4258 吨碳排放。

但是针对海上光伏的运维机器人却暂时没有得到关注，国内以及国际市场上，漂浮式海上光伏运维机器人任是一片蓝海。

在光伏清洁方面，陆上光伏清洁当前存在多种形式，包括：人工清洁，喷淋清洁，机器人清洁，自清洁涂层等方式。以下是对其优缺点总结：

光伏组件清洁技术	优点	缺点
人工清洁	1) 清洗设备简单、干净; 2) 可按需清洁	1) 清洗效率低、清洗效果受主观因素影响; 2) 海上运输, 人力成本高; 3) 海上作业难度高
喷淋技术	1) 自动化程度高, 不需要人工过多参与; 2) 可实现按需除尘	1) 初始成本高, 需铺设大量管道; 2) 耗水量大, 海上缺少淡水难以满足其需求; 3) 对顽固污渍清洗作用有限
机器人清洁	1) 自动化程度高, 不需要人工过多参与, 可满足不同应用场景; 2) 可实现按需除尘; 3) 水资源利用率高	1) 设备运行稳定性差, 需专业人员维护; 2) 初期设备投入成本较高; 3) 对不同环境设计需求不同
自清洁涂层	1) 一次喷涂后无需人工干预, 实现主动清洁; 2) 无振动或机械部件, 不会对组件造成损坏	1) 喷涂前需要对组件进行彻底清洁, 且喷涂工艺影响成膜性能, 施工难度较大; 2) 膜层材料寿命有限 3) 成本较高

表 1 不同清理方式优缺点

1、挂轨机器人



图 5 挂轨机器人

该机器人需要光伏板呈整齐排列, 方便规模化清理, 但由于海上光伏不同光伏板之间呈现独立排列, 并且海上淡水补充困难, 该类型机器人无法适用于海上光伏的清理与运维。



2、便携式机器人



图 6 盘式清洁机器人



图 7 滚刷式清洁机器人

陆上便携式机器人呈多样化，其结构与海上光伏运维机器人大体相近，但其结构仅适用于平稳的，整齐排列的陆上光伏；在海浪波动的影响下，该类型机器人容易导致倾倒，滑落等一系列状况；除此之外，当下光伏清洁机器人大多并没有考虑点对点清洁问题，由于陆上环境多灰尘，故需要大面积清理，用水问题也不受重视；该类机器人如果直接用于海上环境，将会有很大的安全问题与续航问题。

(4) 创新点与项目特色

1、仿人体遇坡面姿态 360 度重心自适应系统，以应对海上波浪环境

本项目为适应海上风浪环境，设计了一款 360 度重心自适应系统，机器人可以通过姿态传感器感知机器人因波浪而产生的倾斜角度而调节自我重心，这种全地形适应装置

可以使机器人得以避免滑落以及倾倒，弥补了普通光伏机器人无法适应风浪环境的缺点。

2、两栖上岸模块，以实现投放智能化

针对海洋光伏机器人投放难的问题，项目组设计了一套轮组，使其可以针对坡面进行姿态调整，从而达到上岸效果。

3、自洁式清理系统，以实现清洁自动化

针对海洋光伏自动化需求高的问题，项目组设计了一套清理系统，该系统能够通过清洁杆与清洁刷相挤压的模式实现清洁刷的自清洁效果，并能用污水槽将脏污回收。

(5) 技术路线、拟解决的问题及预期成果

(a) 拟解决的问题

- 1、在随海浪涌动而不停变换坡面的光伏板上保持平衡，避免倾倒。
- 2、实现机器人清洁功能高度自动化与投放智能化。
- 3、实现对污渍以及光伏板裂痕的检测，并能对污渍进行清理，对裂痕进行坐标标记。

(b) 技术路线



图 8 技术路线

(1) 基于人体坡面反应的 360 度自适应重心系统

在人体遇到较大坡面时，不会使整个身体垂直于坡面，而是会下意识的将身体前倾，与坡面贴合，保持身体直立。其原理是由于当人体重心偏移出双脚支撑点时，人体会倾倒，所以会下意识的将自身重心内收于双脚之间以达到平衡。

基于人体这个现象，项目组设计了这款 360 度重心偏移系统以适应光伏板地形波动大的环境。

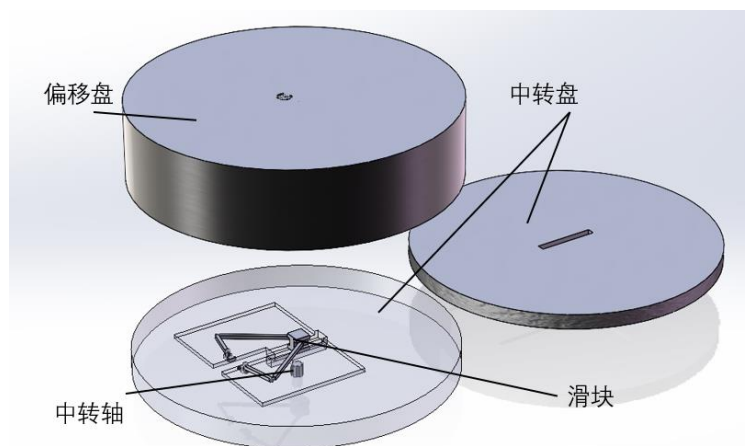


图 9 自适应重心系统

为实现机器人在随海浪涌动而不停变换坡面的光伏板上保持平衡，避免倾倒的目的，项目组设计了一套重心自适应系统，该系统由转轴，中转盘，滑块、偏移盘以及姿态传感器构成，并通过偏移盘的移动改变机器人重心与质心其原理如下：

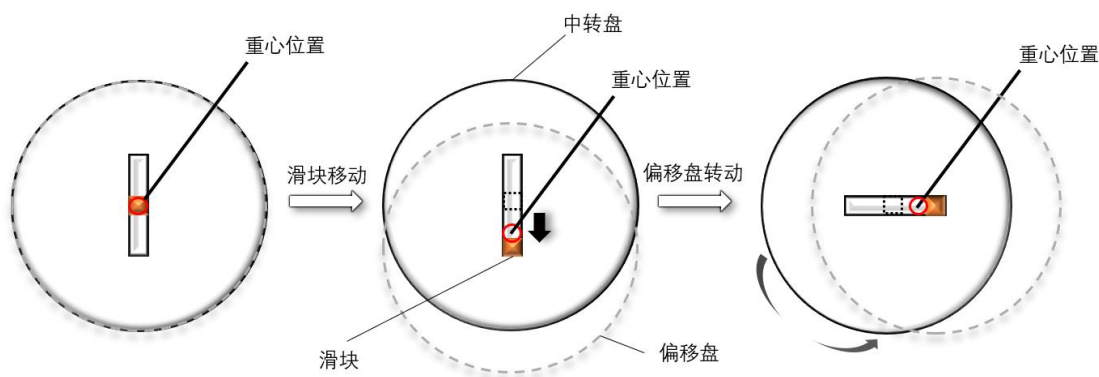


图 10 重心偏移原理

- 1) 机器人将搭载 MPU6050 作为姿态传感器，MPU6050 可以通过传感器检测机器人的姿态角，并利用 MPU6050 芯片内部的 DMP 模块（Digital Motion Processor 数字运动处理器），可对传感器数据进行滤波、融合处理，直接通过 IIC 接口向 STM32 输出姿态解算后的姿态数据，STM32 可直接获取偏航角、横滚角及俯仰角。

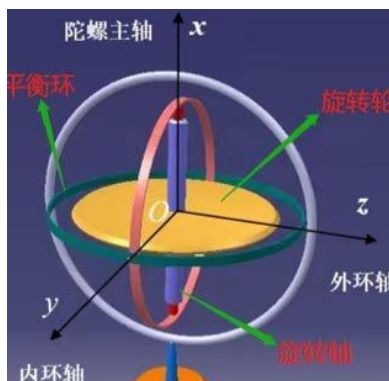


图 11 陀螺仪示意图

- 2) STM32 获取到机器人所在光伏面坡角后，可以控制步进电机使中转轴旋转对应的角度，直到滑块槽与所在坡角平行。
- 3) 在中转轴进行旋转的同时，与偏移盘相连接的滑块将同步滑动，从而带动偏移盘的运动，其运动方向与所在坡面相反，从而达到重心上移的目的，这样机器人与光伏板接触面不动，而重心可以上移，机器人质心内收，从而达到稳定效果。

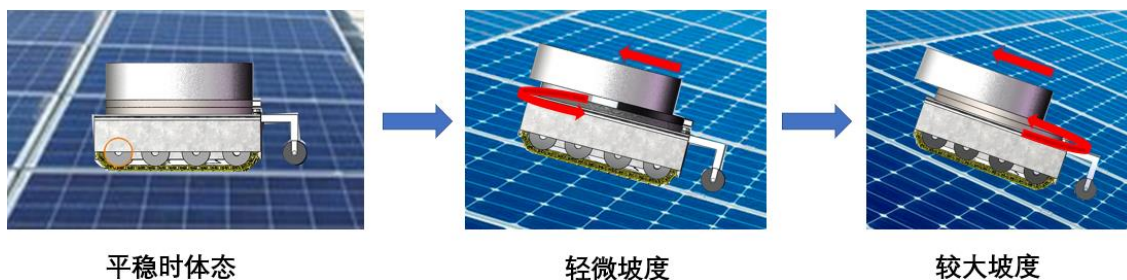


图 12 不同坡角机器人体态变化过程

(2) 两栖上岸系统

为实现机器人投放智能化，项目组设计了一套两栖上岸系统以实现机器人从海洋进入海上光伏电站。该系统由前轮控杆，履带，前驱轮所构成。当机器人识别到光伏浮体时，机器人将调整前轮控杆与浮体进行贴合，再对履带进行驱动，以实现上板效果。

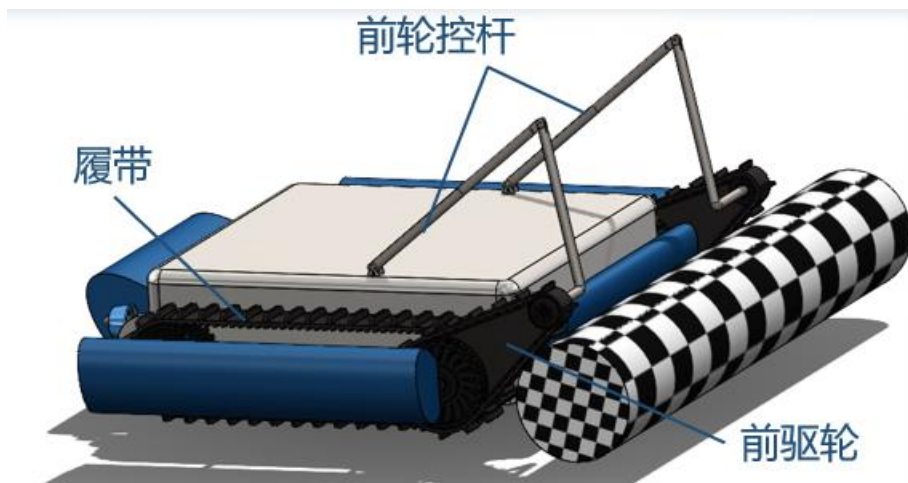


图 13 两栖上岸系统

(3) 机器人清理与视觉检测

为实现机器人高度智能化，项目组设计了一款清理结构，该清理结构分别由清洁板，清洁杆，污水槽，板槽所构成。当清洁板对光伏板清洁完成后，将会向内收缩，其板面将于清洁杆密切接触，从而使清洁板中的污水挤压出来，落入污水槽中。这不仅实现了清理装置的自清洁，并能实现清理高度自动化。

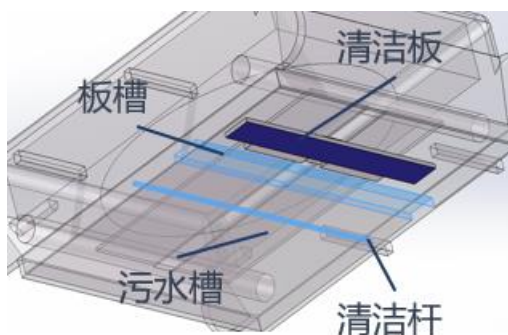


图 14 清理结构

针对光伏板光斑与裂痕检测将利用视觉检测功能，利用摄像模块与深度学习相结合，对机器人进行相应训练，从而确定光伏损坏位置，在确定裂痕位置后，机器人将会记录裂痕坐标，通知上位机修复。

（4）基于 OpenCV 的视觉识别功能

海上光伏板脏污多为海鸟鸟粪、海水蒸发而产生的结晶物，项目组拟采用滚筒式毛刷，以达到清洁效果。机器人自身将搭载水箱，并采用超声喷雾形式以增强淡水的利用率，减少淡水消耗。

机器人将利用深度学习技术，利用海鸟鸟粪、海盐结晶对机器人进行训练，让机器人具备识别脏污以及裂痕的能力，以便机器人清理以及通知检修。

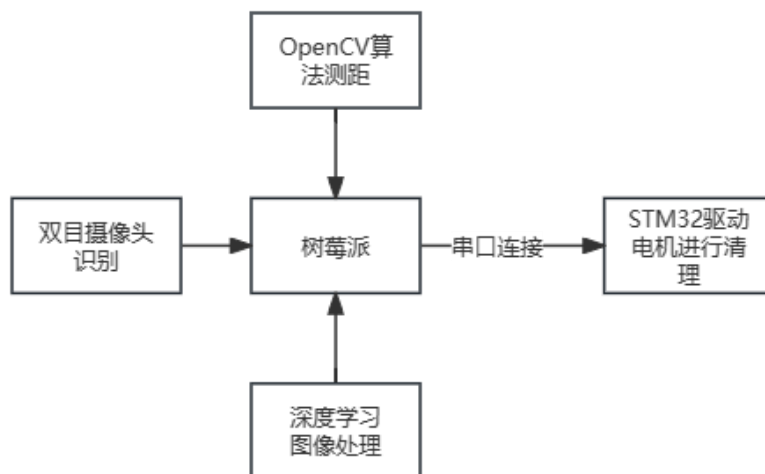


图 15 视觉识别流程图

（5）上位机搭建

项目组拟搭建一套上位机系统用于检测机器人状态，并接收机器人传送的裂痕坐标，以通知相关人员进行修理。上位机能够检测机器人所剩淡水量与电量，为机器人自身维护提供相应信息。



(c) 预期成果

1、完成海上光伏运维机器人制作，确保其重心控制，地图构造与坐标接收功能完善，能够实现海上光伏点对点运维，并通过实践确保其实际使用效果。

2、申请相关专利，并尝试与企业合作，将项目投入商业使用，实现海上光伏运维的实际突破。

3、利用该项目参加部分机器人竞赛，提高成员实际动手能力，拓展成员所学知识，锻炼成员科研精神。

(6) 项目研究进度安排

(a) 2023 年 11 月至 12 月，继续完善机器人的模型构造，利用 Solidworks 对机器人细节部分进行打磨与细化，优先完成机器人地盘的设计；根据机器人需求对电路原理图进行绘制并利用嘉立创或 AD 进行电路板绘制；学习利用树莓派+OpenCV 进行机器人视觉控制，优先学习视觉循迹部分。

(b) 2024 年 1 月至 2 月，完成机器人整体的建模与仿真；并完成机器人初版电路板绘制与制作；开始搭建机器人动力模块，完成机器人底部的搭建与控制效果。

(c) 2024 年 2 月至 6 月，完全搭建机器人，实现机器人整体制作；完成基础电控部分，实现机器人各个动作模块的运动与控制，并进行相应的参数调整；视觉部分，实现机器人视觉行迹功能，实现机器人目标识别功能。

(d) 2024 年 6 月至 7 月，完善机器人构造，对部分功能进行优化处理，并训练机器人目标识别的准确性。购置光伏板，对机器人开始实行海上环境模拟，并根据模拟情况对机器人进行优化。

(e) 2024 年 7 月至 10 月，对机器人算法进行进一步精确化，并进一步打磨机器人模型，利用机器人参加相应比赛，获取对应成果。

(f) 2024 年 10 月至 11 月，对机器人进行包装美化以及优化，完成项目并结项，总结这一年工作的经验与成果，整理报告，并尝试进行商业化推广。

(7) 已有基础

1. 与本项目有关的研究积累和已取得的成绩

本项目已建成机器人初步建模，同时指导老师所带项目组在视觉识别方面有所经验与成果，项目组可以学习借鉴；项目组成员有相关企业社会实践参观经历。

2. 已具备的条件，尚缺少的条件及解决方法

已具备条件：项目组成员来自于各个学院，对机器人建模，电路板绘制，单片机控制以及算法方面都具备专业基础。

建模方面，成员胡吉晔与张中禹已经能熟练运用 Solidworks 对机器人进行建模与仿真，且能灵活利用 PS 用于海报宣传。

电路方面，成员王理想能够熟练运用 AD，嘉立创等软件进行原理图绘制以及电路板绘制，并有电路设计与焊板经历。

单片机控制方面，成员孙健能够使用 STM32 对机器人进行控制，并已经初步学习了树莓派的利用。

算法方面，成员李田秋阳能够熟练运用 Python，C++，并有过上位机搭建的经历，能够在机器人视觉以及机器人反馈方面提供很大帮助。

尚缺少的条件及解决办法：

1) 拟应用与机器人上的 SLAM 算法，项目成员暂未有学习基础，相对难度较高。

项目组将会好好利用寒假期间时间对该知识进行集中学习。

2) 项目组对工程上的部分机械知识了解不深，如器件之间的配合以及结构等。项目组将会虚心向学长、老师以及曾有过科研经历的同学们请教并学习。

3) 项目组对漂浮式海上光伏了解依然不全面，暂时没有亲身踏上光伏板的经历。项目组将与指导老师沟通，申请购买光伏，以及进入相应企业与实验室参观。

三、 经费预算

开支科目	预算经费 (元)	主要用途	阶段下达经费计划 (元)	
			前半阶段	后半阶段
预算经费总额	29000		18400	10600
1. 业务费	0		0	0
(1) 计算、分析、测试费	1000	视觉训练等	0	1000
(2) 能源动力费	1300	舵机、电机、电池、充电器、太阳能板购置	700	600
(3) 会议、差旅费	2500	企业参观路费	2500	0
(4) 文献检索费	200	论文下载	200	0
(5) 论文出版费	1000	论文出版, 专利申请	0	1000
2. 仪器设备购置费	13000	摄像头、履带、滚轮、滚筒刷、单片机、开发板、控制模块等购买	8000	5000
3. 实验装置试制费	2000	电路板打造	1000	1000




开支科目	预算经费 (元)	主要用途	阶段下达经费计划 (元)	
			前半阶段	后半阶段
4. 材料费	8000	机器人搭建用料购买, 实验耗材、备用零部件等	6000	2000
学校拨款				
财政拨款				

四、项目组成员签名

王理想 张中禹 胡志畔 孙健 李田秋阳

五、指导教师意见

同意推荐
导师(签章): 
2023 年 11 月 16 日



六、 院系推荐意见

	盖 章: 年 月 日
--	---------------------

七、 学校推荐意见

•	盖 章: 年 月 日
---	---------------------