

# 基于人工智能的物联网水上清污船

## 设计说明书

设计者：张皓源<sup>1</sup>，邹子宁<sup>1</sup>，刘星<sup>2</sup>，李东<sup>3</sup>

指导老师：郑红梅<sup>4</sup>，王岩<sup>4</sup>

(1 合肥工业大学机械工程学院 2 合肥工业大学土木与水利工程学院 3 合肥工业大学计算机与信息学院 4 合肥工业大学工业培训中心 )

### 作品内容简介

水面垃圾问题一直是我国城市水面环境治理所面临的一个严峻的污染问题。不仅破坏了生活水源，也影响了市容环境，因此每年都会投入大量的资金和资源在水面垃圾治理方面。针对此问题，本项目设计制作了一款基于人工智能的物联网水面垃圾清污船。通过针对目前城市水面垃圾的现状，本清污船可实现水面路径规划，自主巡航，水面图像监控回传，水面垃圾自主识别等功能；同时为了提高作品的可靠性，降低外界环境的干扰，本产品基于物联网的思想，通过 4G 系统将清污船记录到的水文信息进行实时数据传输，实现远程定位，姿态实时监控。为了辅助水面清污船的工作，产品配套设计了浮动船坞，通过定位系统和视觉辅助可以实现清污船的自主返港，同时还可使清污船在非工作状态抬离水面并且进行充电工作，延长其工作时间以及提高使用寿命。经测试，本产品可以实现水面垃圾的有效清理，有效的节约人力资源，对维护生态环境的整洁具有良好的实用前景。

联系人：张皓源、电话：15635679626、Email：[957680881@qq.com](mailto:957680881@qq.com)

### 1 研制背景及意义

随着我国经济的快速发展，人民物质生活水平的大幅度提高，公众的日常生活、生产中产生了各种大量的废弃物。值得注意的是，过去未被重视的一种水域环境污染—水面垃圾污染也是越来越严重。迅速的城市化和工业化进程、旅游业的发展、民众环保意识的淡薄，等等因素导致了这些废弃物的产生，使得江河、湖泊和港口，甚至近海的水面飘浮垃圾的污染日益严重，尤其是流经城镇生活区域的河流段。大量水面垃圾的污染，不仅破坏了生活水源，也影响了市容环境，其污染治理及控制亟待加强。



图 1 人工清理湖面垃圾



图 2 某城市河道

目前，对于城市水域水面垃圾，由于水域面积较小，大型设备无法进入，因此主要采用人工打捞的方式进行清理。这种作业方式费事费力，而且效率低下。为了提高工作效率，提高水面垃圾的清扫速度，更好的保护水面环境。基于此，设计一种小型的水面垃圾清污设备

显得尤为重要。

## 2 设计方案

### 2.1 作品设计要求

本产品主要针对城市公园湖泊，河道等中小型水域工作环境设计。结合此背景，我们设计的水面清污船具有如下设计要求：

- (1) 可以实现水面定位，水面路径规划，自主返港，自主充电；
- (2) 水面环境恶劣情况下可以保证正常工作，具备一定的抗风浪能力；
- (3) 通过视觉系统对水面垃圾定位，提高收集效率；
- (4) 采用电力作为能源来源，不会产生水面二次污染；
- (5) 4G 通信实现地面站，船坞，清污船数据互通，实现数据的远程检测与回传。

以下是我们作品设计的具体内容。

### 2.2 结构设计

#### 2.2.1 船体结构设计

水面清污船整体为全封闭结构，外形设计采用了流线设计，有效降低了在水中运动以及来自大风情况下的环境阻力。船体设计创新性的采用了双体半潜船的设计结构，在提高了船体稳定性的同时方便了水面垃圾的收集。船体结构如图 2 所示。

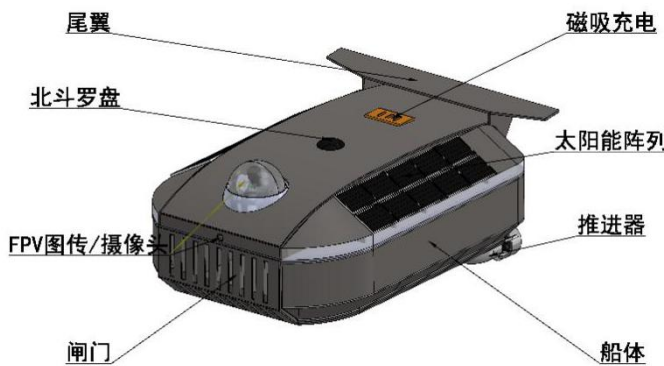


图 2 船结构示意图



图 3 产品工业设计图

在工作状态时，船体有 1/3 左右位于水线以下，通过聚拢式收集的方式将垃圾收集在船舱内部，具体结构如图 4 所示。相比于传统的履带式收集结构，这种聚拢式的收集结构整体更为简单，省去了复杂的传送带结构，降低了船只重量，提高了清污船对能源的利用效率，更加适合小型清污船使用。此外，清污船设计了一套抽水式的收集结构来辅助收集，水下推进器的进水口设计在收集仓后部。当船只前进时，在推进器的作用下会将船只前方的水流吸入收件箱内部，从而帮助清污船提高收集效率。清污船剖面图如图 4 所示。

如图 5 所示，为了便于垃圾的转运，清污船设计有可替换收集箱，同时在船首安装了可控闸门，避免在运输过程中垃圾漏出。在清污船工作状态时，闸门自动打开，同时降低清污船的移动速度，便于进行收集；当收集工作结束后，闸门闭合，可以降低清污船运行过程中的阻力，提高在水面的行驶速度。

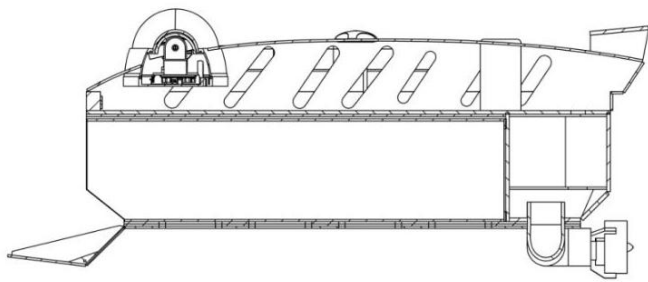


图 4 船体剖视图

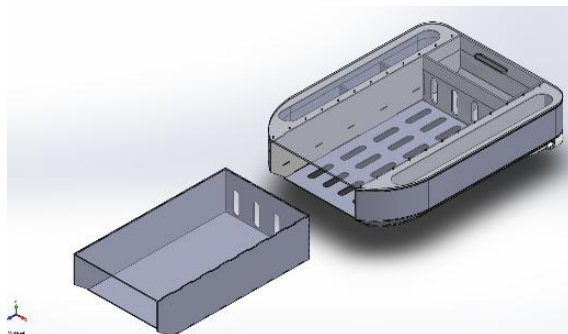


图 5 可替换收件箱

### 2.2.2 船坞结构设计

为了延长水面清污船的工作时间，保证其在水面的续航性和稳定性，我们设计了用于清污船在非工作停靠状态下充电休整用的浮动船坞。船坞的结构如图 6 所示。船坞通过钢缆固定在岸边，同时在船坞两侧设计有浮箱保证其在水面的稳定性。在船坞顶部安装有太阳能板，在白天保证船坞的电力供给，同时为船坞的蓄电池进行充电；船坞内置有升降平台，通过电机带动滚珠丝杠，从而使平台托举清污船上升，将清污船抬离水面。船坞正面设计有用于视觉校准的识别特征，在升降平台上设计有限位模块，可以保证清污船精确的返回船坞。在船坞顶部设计有磁吸充电模块，可以与清污船的顶部的充电模块对接，实现清污船的自主充电功能。

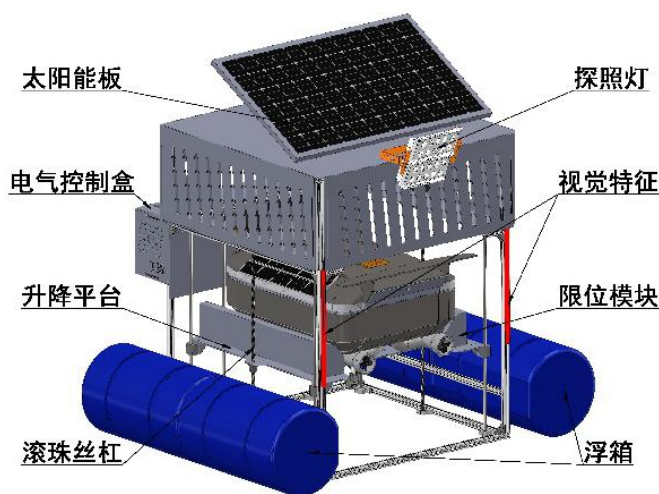


图 6 船坞结构图



图 7 工业设计图

### 2.3 电控设计部分

针对水域环保整治以及水文信息的收集需要，我们在水面清污船以及船坞上均安装了相应的检测传感器及数据传输模块。下面将以船坞部分为例进行介绍；

船坞的主控制板集成 A4988 步进电机驱动模块作为主板，伺服电机驱动，以及温湿度采集模块 DHT11，水质检测模块 TDS 传感器等，同时主控系统的通信采用了 4G 传输模块，便于与清污船以及地面站进行数据交互。

A4988 电机驱动模块为 3D 打印机采用的驱动模块，通过改变引脚最高可以设置 16 细分，进行对于 4 线的 42 步进电机的驱动，采用高性能控制器 stm32 的定时器产生方波信号进行控



制。集成的伺服电机控制则可以通过产生的脉宽进行控制摇臂的角度，来实现对于角度的控制。

集成的 DHT11 数字温湿度传感器是一款含有已校准数字信号输出的温湿度复合传感器，它应用专用的数字模块采集技术和温湿度传感技术，确保产品具有极高的可靠性和卓越的长期稳定性。传感器包括一个电阻式感湿元件和一个 NTC 测温元件，并与一个高性能 8 位单片机相连接。因此该产品具有品质卓越、超快响应、抗干扰能力强、性价比极高等优点。每个 DHT11 传感器都在极为精确的湿度校验室中进行校准。校准系数以程序的形式存在 OTP 内存中，传感器内部在检测信号的处理过程中要调用这些校准系数。单线制串行接口，使系统集成变得简易快捷。超小的体积、极低的功耗，使其成为该类应用中，在苛刻应用场合的最佳选择。

TDS 传感器检测的为水中的溶解性固体总量，通过检测电导率的大小，能够大概了解溶液中的盐分，一般情况下，电导率越高，盐分越高，TDS 越高。在无机物中，除溶解成离子状的成分外，还可能有分子状的无机物。

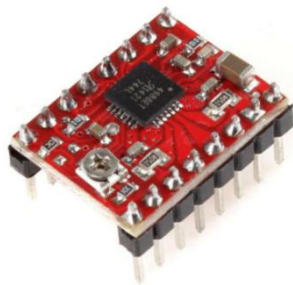


图 8 A4988 电动机驱动模块



图 9 DHT11 数字温湿度传感器

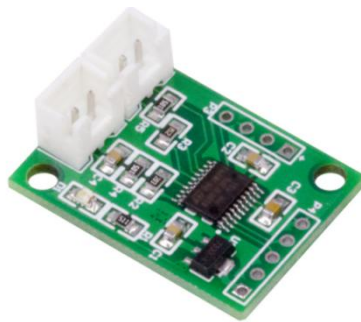


图 10 TDS 传感器

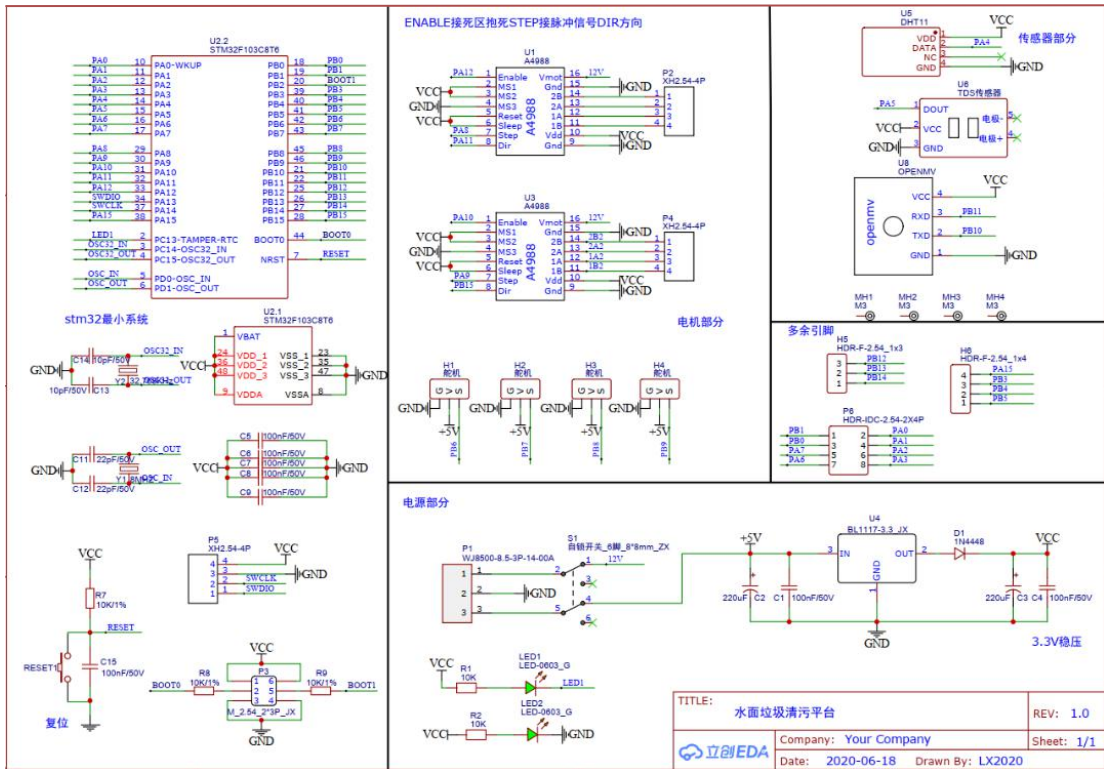


图 11 水面垃圾清污平台电路板

## 2.4 自控部分设计

### 2.4.1 视觉识别设计

自主水面垃圾识别和视觉辅助返航是本产品中视觉识别的两个主要体现点。

垃圾识别通过采用高阈值二值化图像处理方法，消除阳光照射水面产生的干扰，再对图像用形态学滤波进行消噪处理，最后通过判断图像上 ROI 区域大小，判断是否是垃圾；当图像中判断出多个垃圾时，通过对比 ROI 区域大小，进而选中最优垃圾选项；当选中目标垃圾后，利用工业相机参数，通过 PNP (Perspective N-Point) 求解目标位置，进而将解算的位姿信息（距离以及角度）返回，控制电机转向。

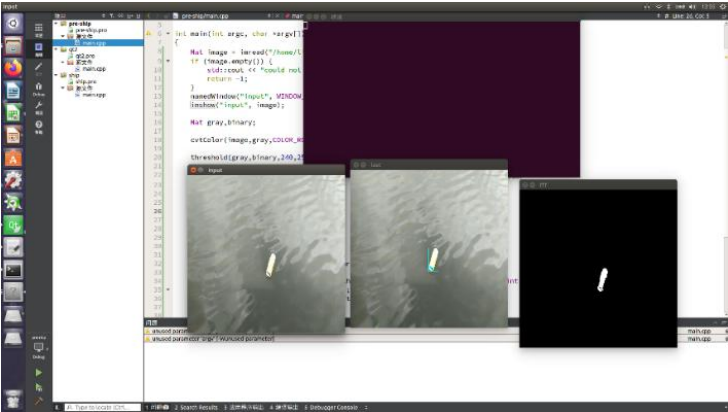


图 12 垃圾识别效果图

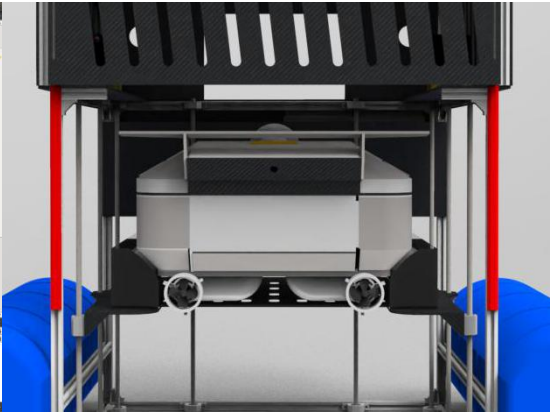


图 13 船坞识别特征

当清污船在导航系统的引导下返回到船坞附近时，位于船首的工业相机会对船坞正面的识别特征（两条垂直红色灯带）进行识别，在识别匹配到港口后，采用与垃圾识别相同的方法，PNP 解算角度，实现辅助返港。流程图如图 14 所示。

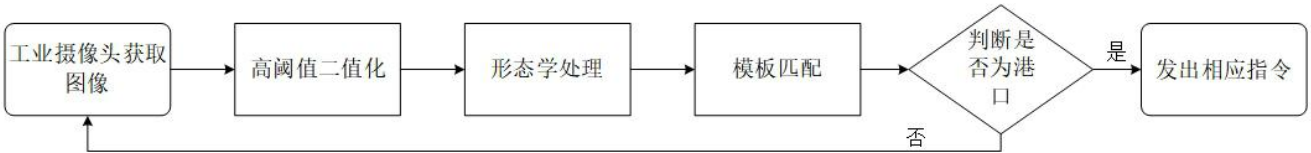


图 14 自动返港流程图

### 2.4.2 路径规划与远程控制设计

水面清污船通过 APM 飞控作为基础，我们对其进行了二次开发使其作为清污船的主控模块。通过北斗罗盘实现水面定位，以水下双涵道推进器作为驱动源，操作人员可以通过地面站对清污船进行水面路径规划，同时可以通过外加摄像头+FPV 图传来实时获取第一视角图像。



图 15 夜间航行测试

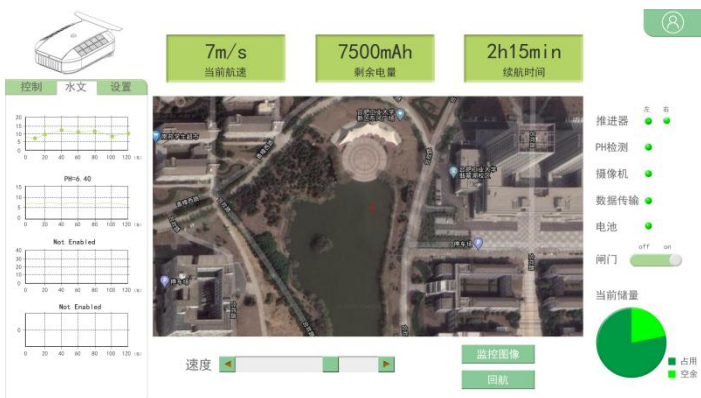


图 16 操作界面 UI 设计

清污船的远程控制经过了两代改进，第一代设计采用了 915MHz 数传电台与地面站进行通信，但是在多次实验中我们发现，数传电台在半开阔水域以及恶劣天气下受到的背景杂波干扰较大，因此我们也加装 4G 物联网卡作为辅助。4G 物联网卡基于国内三大通讯商的资源为基础，效果稳定，且相较 WIFI 模块和蓝牙模块相比覆盖面更广，耗能相对不高。

同时我们也寄希望于 4G 模块能够将垃圾识别的数据和位置信息更快更稳定的传输到岸边基站，对此我们可以针对该区域垃圾的情况随时进行路径更新，提高清理的效率，也可以为后期的数据分析提供便利。

### 3 理论设计计算

#### 3.1 清污船动力设计

水面清污船推进电机采用了水下涵道电机。电机的具体参数如下：

表 1 无刷电机参数

防水深度	最大电压	最大电流	最大推力	Kv 值
30m	12V	15A	2kg	800

水面清污船的自身参数如下：

表 2 船体参数

名称	单位	参数
净重量	Kg	20
大小	cm	60*70*40
吃水量	cm	8
有效载荷	Kg	15

为测试船体动力系统，我们制作了船体的 1：1 模型。通过在水池进行动力测试，验证了推进电机推力的稳定性，满足了预期的设计期望。

船体的转向控制采用了差速转向的设计思路。通过在船体尾部的两个水下推进器的速度差实现船体转向。差速转向包括以下步骤：（1）获取清污船位置，航向信息；（2）计算清污船与预定轨道的横向偏差和航向偏差；（3）计算控制转向变量；（4）计算 PWM 信号脉宽。

#### 3.2 船坞升降机构螺杆扭矩计算

设船体重量为 15kg，四根升降螺杆，则将船体提升时，每根螺杆受到的轴向力为

$15 \cdot 9.8 / 4 = 36.75N$ ，所采用的滚珠丝杠导程为 10mm，由公式：

$$F_{\text{轴}} \cdot \text{导程} = \text{电机输出扭矩} \cdot 2 \cdot 3.14 \cdot \text{丝杠效率} \text{ 得，电机扭矩为 } T = \frac{36.75 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3.14 \cdot 90\%} = 0.065 N \cdot m。$$

### 4 工作原理及性能分析

#### 4.1 工作原理

本项目主要有两部分组成，负责水面垃圾收集的水面清污船以及船体后勤补给的水面船坞。水面清污船在船坞充电结束后，通过升降机构将水面清污船下放至水面。水面清污船倒退驶出船坞后，安装设定路线在湖泊中进行垃圾回收；在此过程中，在视觉系统的辅助下识别水面的漂浮物，同时记录垃圾种类；在通过 4G 通信装置进行数据传输，对水面清污船进行实时定位，实时监控；以两路水下推进电机为驱动源，利用电机运转吸水产生水流压力，能

最大程度抵御小型水域可能的恶劣情况，实现平稳高效的航行并使水面垃圾流入可拆卸收集舱。当电压降低到设计值时，自动返回母港，在船首的视觉装置以及船首的视觉特征辅助下，进入船坞；随后升降机构启动，将船抬离水面，同时，清污船顶部的磁吸充电装置与船坞顶部的磁吸装置吸合，开始充电。

4.2 实验数据

本船采用太阳能作为动力源进行驱动， 依靠装置在船体两侧的 10 块太阳能电板，确保船只活动的供电充足。

表 3 电源参数

名称	单位	参数
满负荷运作功率	W	300
最大可携带电源大小	mAh	9000

采用电机吸水推进产生水流压力，使垃圾进入可替换垃圾收集仓，从而极大的增加了垃圾收集的空间。经过我们多次测试，我们得出以下数据：

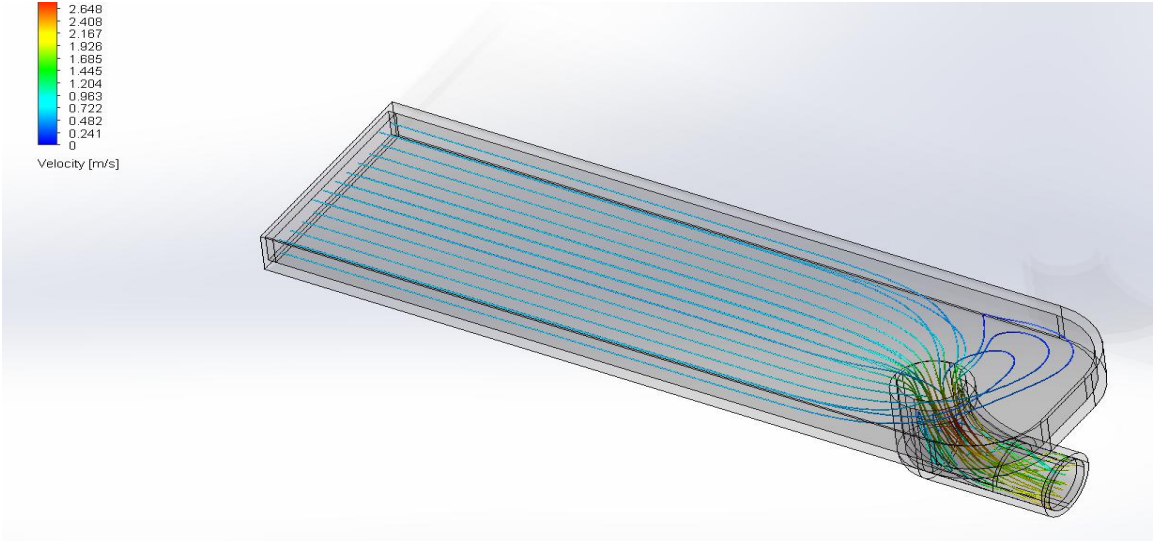


图 17 流体仿真

表 4 测试数据

物品名	单次最大收集个数（个）
废弃塑料袋	16
泡沫（10*15*5）	3
羽毛球	6
乒乓球	10

船只采用了可替换的垃圾收集箱，同时加装了可控闸门，在避免收集的垃圾在返程的途中漏出的情况下，加快了垃圾运转的便利性。

表 5 收件箱参数

名称	单位	参数
大小	Cm	50*30*136
最大容量	L	15



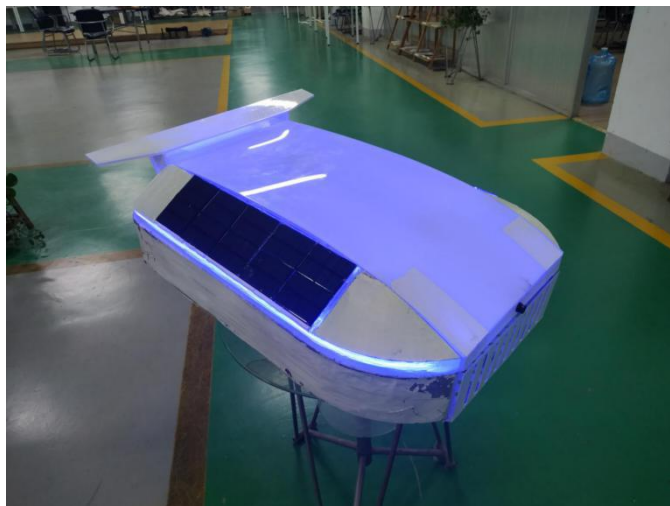


图 18 产品实物图

## 5 创新点及应用

### 5.1 整体结构创新

(1) 该船体采用双体船加半潜船的设计，降低了船只重量，提高了船体稳定性，大大降低了船体建材的使用，有效降低了成本。

(2) 采用船坞加船的配套组合，使船体下水方便，通过磁吸充电的方式，大大提高船体的整体续航能力。

(3) 船只可以实现自主巡航、实时画面回传监控、路线规划，减少人力消耗。

(4) 使用视觉识别的方式来定位水上漂浮垃圾，并可以在靠近船坞附近时实现自主定位回航。

### 5.3 应用前景

随着水面环境保护的重视度越来越高，水面整治力度也将增大。然而单纯依靠人力的清理整治，耗费高，周期长，且效果不佳。同时对于部分危险水域，难以动用人力整治。而本产品造价低，使用便捷，可以满足极大多数小心水域的清理与整治，同时通过推广以模块化水面清污移动平台为主的无人设备，根据用户的需要提供定制化产品。我们利用模块化产品的优势性，开发更多应用在其他场合的下的功能模块，拓宽市场，扩大用户范围。例如在水质检测，水面摄影，环境保护等，从而进一步扩展应用范围。同时不断开发新的产品方向，从垃圾清理逐步向水面治理扩展，打造完整的环境治理循环圈。

### 参考文献

- [1] 吴健. 基于计算机视觉的废物垃圾分析与识别研究[J]. 信息技术与信息化. 2016. 12. 26
- [2] 李子如 贺伟. 考虑水弹性影响的螺旋桨设计方法研究[J]. 船舶力学. 2017 (5)
- [3] 许旸. 半潜船结构设计简介[J]. 广东造船. 2017 (1)
- [4] 梁硕 王桂民. 基于机器视觉的可移动太阳能水上垃圾收集器的设计[J]. 电子测试. 2019, 1 (18)
- [5] 谢畅 吕光华. 太阳能板倾角设计优化[J]. 中国高新科技. 2019 (18)
- [6] 高翔. 视觉 SLAM 十四讲[M]. 电子工业出版社. 2017. 3
- [7] 席志红 李爽 曾继琴 刁硕. 一种改进的 PnP 问题求解算法研究[J]. 应用科技, 2018, 45(04): 56-60.