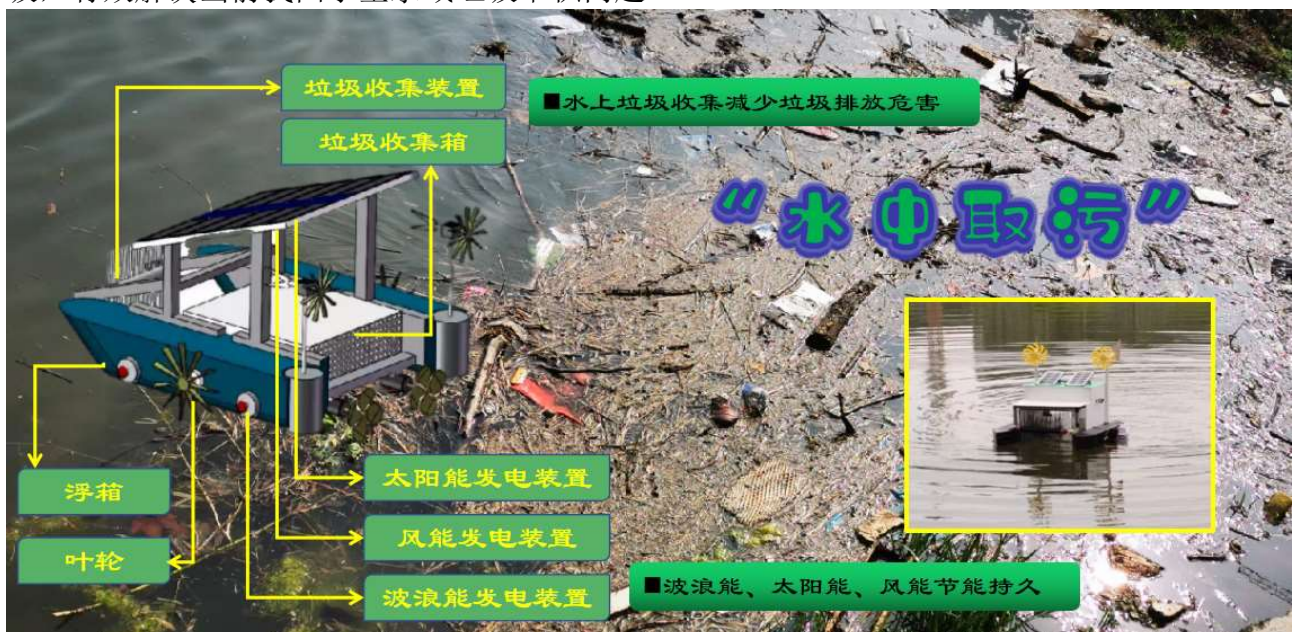


“水中取污”——一种河流漂浮垃圾清理装置设计说明书

作品内容简介

随着我国现代化进程的加快，垃圾产量大量增加，水上漂浮垃圾的数量也日益增多。塑料袋、塑料瓶、泡沫浮体等是城市河道、景观水池、饮用水库的主要漂浮垃圾。高效、彻底地清理水面垃圾是环保减排工作的基本任务。水面垃圾不仅严重污染水质对水生动植物造成危害，也对人们的饮水健康产生严重影响。在这种形势下，小型便捷的城市水上垃圾清洁器设计的诉求应运而生。这类设计要求在功能上体现出当前时代最新科技水平，满足水域环保清理的任务。本团队研究设计了一种基于风能、光能、波浪能动力装置的小型水域漂浮垃圾清理装置。该清理装置可以有效地利用波浪能、太阳能和风能的特性，进行能量储存与利用，大大降低了对单一电能的消耗，保障了清理装置运行的持续性，使我们的清理装置运行稳定可靠。本清理装置具备稳定可靠、持续高效、节能环保等特性，适合广泛应用于大部分人工湖湖面或城市河道水面。通过使用该装置可以高效率，低能耗，低花费的清理水中存在的垃圾，有效解决当前我国小型水域垃圾堆积问题。



关键词：水上垃圾清洁器、风光互补、波浪能、漂浮垃圾、水域环保清理。

1 研究背景及意义

1.1 设计背景以及现状

近年来，随着城市建设的飞速发展，不少江河、湖泊、海洋等水面受到水面污染物不同程度的污染。其中以塑料污染尤为严重。“五水共治”后，虽然城市主要水路干道上的垃圾少了很多，但仍然存在塑料漂浮物，对河内的生态影响巨大而目前清理水面垃圾的方式在一方面效率较低，另一方面也存在很大的安全隐患。



图 1-1 城乡河道水面污染



图 1-2 景观水面垃圾污染

1.2 设计意义

对水中垃圾的清理，我国还停留在人工清理阶段。比如在一些景区内，**大多数都是人工用网兜收集，并且只能收集距离岸边几米的区域，并不能收集水域中心的区域**，收集起来十分困难。而在城市的内河，人们开着船用捕捞网清理，耗时耗力，然而与大型水域不同的是生态景观水域和人工养殖水域等小型水域，有其独特的分布特性，通常深度浅，面积不大，且分布不集中。更有一些景观水域为了美观设计的需要，专门规划成外观不规则的形状。从目前的实际情况来看，我国亟需一些自动化程度较高、收集容易、操作简单的装置，以**减轻人们的工作压力和提高工作效率**。所以设计一种灵巧轻便水面垃圾清理装置将变得十分重要。

2 设计方案

2.1 工作原理

本次设计的水上垃圾清理船由**控制系统、供电系统、垃圾搜集系统、动力单元系统、无线传输收发系统、叶轮短定位系统**等共同组成。工作时可利用环境中的**风能与太阳能**，河流中的**波浪能**。从而减少了能源的消耗，大大提升了工作效率。本装置工作原理图如图 2-1 所示，实物如图 2-2 所示。

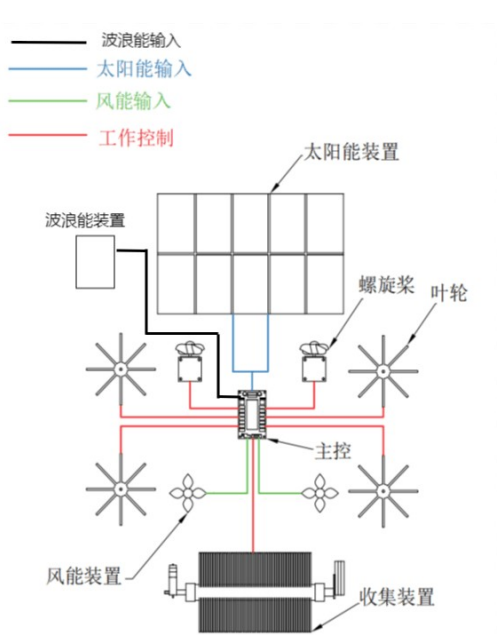


图 2-1 多动力源协调方案



图 2-2 清理船实体图

主要的工作模式如下：

全自动水上垃圾清理机器人的价格比较昂贵，采用时还需要拥有一套完整地**控制系统**和**能源系统**，而人工遥控却能避开这些缺点，在拥有极高的性价比的同时，使用十分便捷，操作十分简单，大大**降低了能源的消耗**，提高了装置的持续性，并且可以多个水域共同使用一台机器，非常适用于我国目前的大多处水域。

在工作时，首先将清理机器人放入水中，打开位于船尾的**工作开关**，当红色指示灯亮时，则代表电路系统已经开始进入工作状态。接着，操作人员通过**遥控器发出信号**，船体行驶至垃圾旁边，打开前面的**滚筒收集滤网装置**，使船体水域前面的垃圾在滚筒可收集的范围内，从而进行垃圾的收集。此外，操纵人员还可通过电子软件打开船体的摄像头，对一些人无法看到或者捕捞的地方进行垃圾的清理。**H 桥电路驱动直流电机**控制航速，**双螺旋桨**对船体的航行方向进行调整，逐渐驶向清理目标。最后，当观察到垃圾仓装满后，操作返航到指定位置抽离垃圾箱对垃圾进行处理。从而可继续完成下一个工作循环。如此便完成了整个垃圾收集过程。

总体工作流程如图 2-1 所示，总体控制流程如图 2-2 所示：

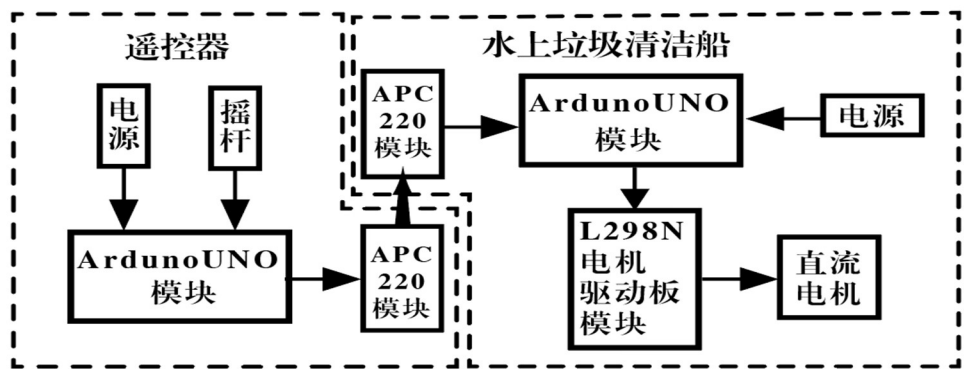


图 2-1 工作流程图

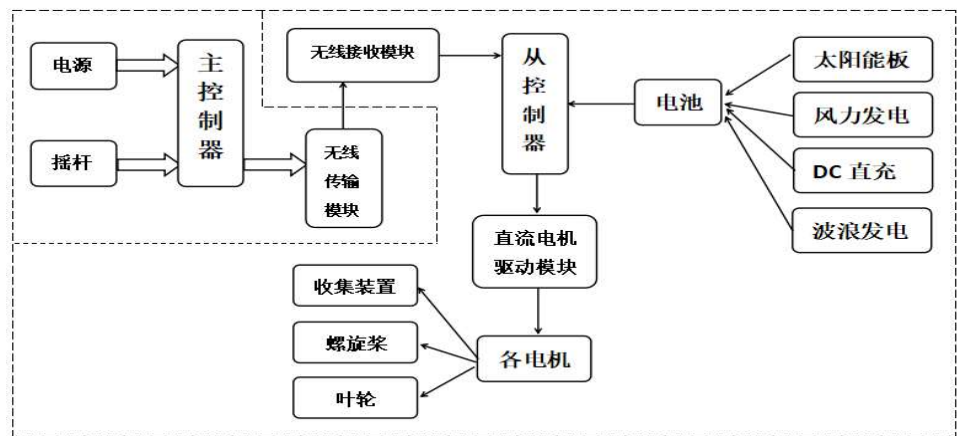


图 2-2 控制流程图

2.3 实物设计与制作

太阳能板安置在装置最上方，采取并联方式通过稳压模块输出 12V 电压为装置电源供电；在两个浮筒后方固定两根空心圆柱通过轴承连接风能发电装置，**风能发电装置后方的尾翼可**

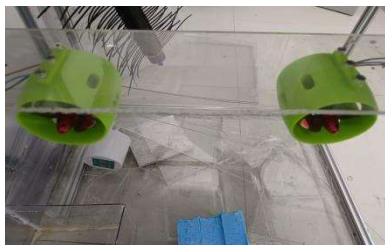
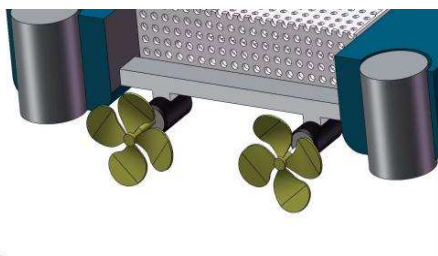
以随风向来改变风能装置的朝向，以此获得更高的风能转换率

装置采用 Solidworks 软件进行三维建模。

1. 浮箱图（2.3）及动力装置图（2.4）：

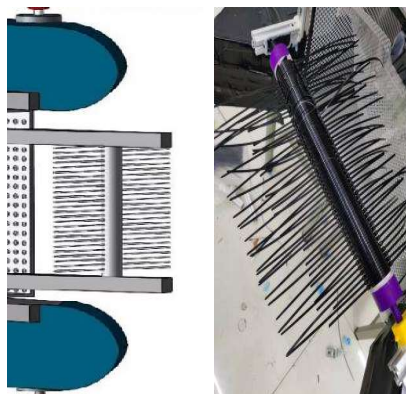


浮箱（2.3）

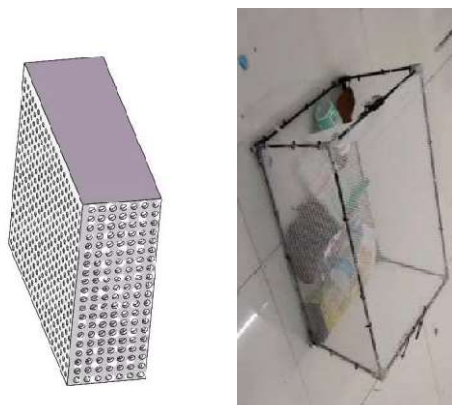


动力装置（2.4）

2. 收集装置（图 2.5）及垃圾舱（图 2.6）：



收集装置（图 2.5）

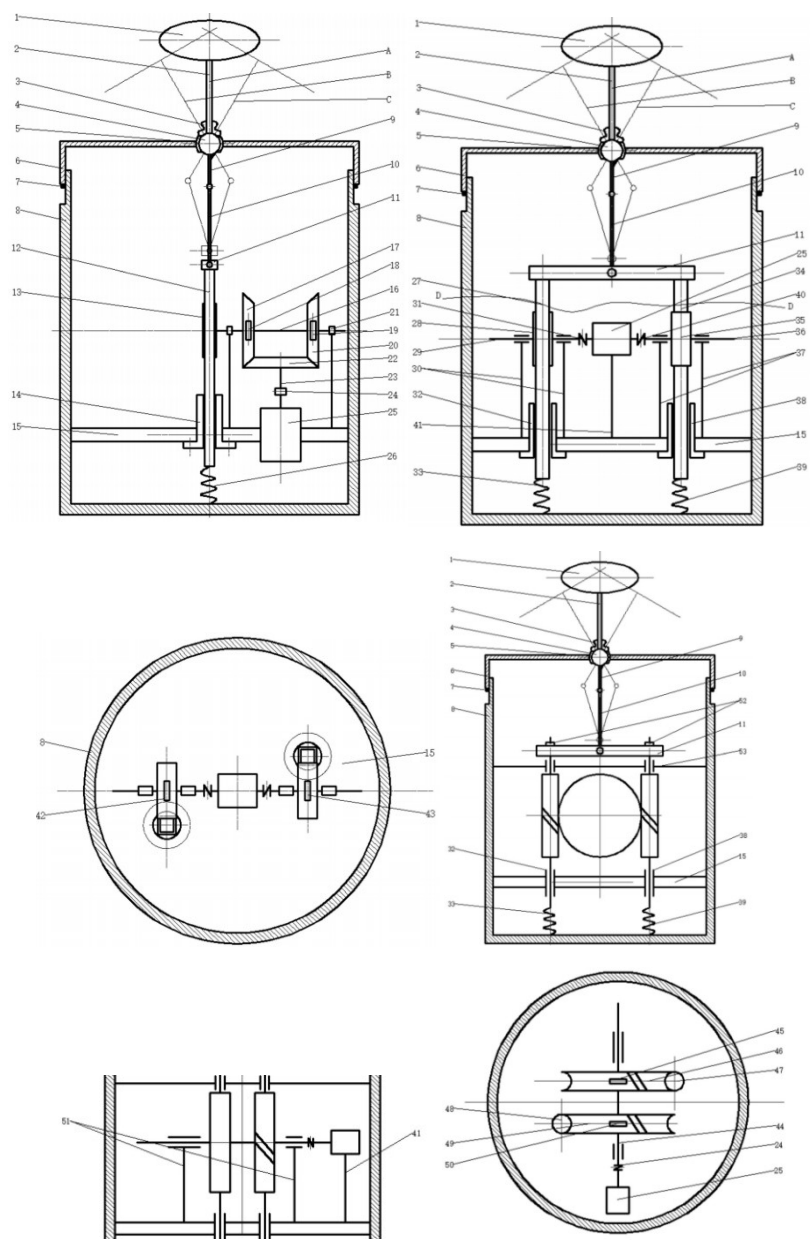


垃圾舱（图 2.6）

3. 波浪能装置如图（2-7）所示。

其中：1 浮子，2 摆杆，3 波纹软管，4 球形铰接，5 球形抱箍，6 上壳体，7 密封圈，8 下壳体，9 曲柄，10 连杆，11 滑块，12 齿条，13 直齿轮，14 套筒，15 圆形固定板，16 齿轮轴，17 左锥齿轮，18 左离合器，19 右离合器，20 右锥齿轮，21 支撑件，22 输出锥齿轮，23 输出轴，24 联轴器 25 发电机，26 限位弹簧，27 左齿条，28 左直齿轮，29 左齿轮轴，30 左齿轮轴支撑，31 左联轴器，32 左套筒，33 左限位弹簧，34 右齿条，35 右直齿轮，36 右齿轮轴，37 右齿轮轴支撑，38 右套筒，39 右限位弹簧，40 右联轴器，41 电机支撑，42 左单向

离合器，43 右单向离合器，44 蜗轮轴，45 后单向离合器，46 后蜗轮，47 后蜗杆，48 前蜗杆，49 前蜗轮，50 前单向离合器，51 蜗轮轴支撑，52 蜗杆固定螺母，53 蜗杆支撑板。



波浪能装置（图 2-7）

3 理论设计计算

3.1 风能效率计算

风力机采集风能的计算公式： $P = (C_p \times \rho \times v^3 \times A) / 2$ (kw/h)

功率系数 $C_p = P_{\text{capture}} / P_{\text{wind}}$ 能提供的风能/输入的风能，表示风机捕捉风能能力，本装置的 $C_p(\text{max}) = 0.593$ ；空气密度： ρ (kg/m³) 与海拔、水汽压 8 为研究风能采集及能量转化利用我们搭建出一套系统动态工况测试平台并得出测试结果如图 10 所示：

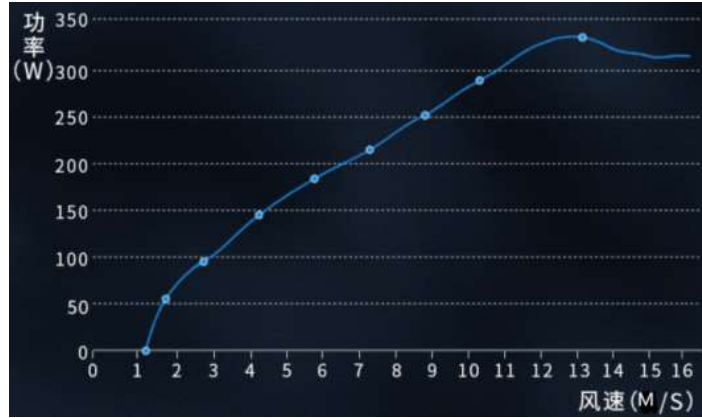


图 3-1-1 风能装置在不同风力下的输出功率实时追踪平台

通过结果分析得到：

在直径十七厘米扇叶尖部风速由 1M/S 到 13M/S 之间时，功率由 0~300W 基本显直线式上升。当风速大于 13M/S 时，功率也无明显衰减且维持在 300W 以上基本不变。

实际工况下：

由启动风速为 2.5M/S 开始供电将在 3~3.4s 内达到额定风速约为 12M/S 并在此条件下保持额定转数为 800/MINRPM，产生 12V 稳定电压为电源供电。

3.2 太阳能效率计算

我们使用两块大小为 0.045 m² 的太阳能板。

主要计算公式如下：

太阳能用电量按每日用电 12 小时，系统电压 12V 计算，则本系统每日用电量约为：

$$Q = (Q_f + Q_{\delta}) * N = \left(\frac{P_w + P_k * 2}{U} + \frac{P_k * 2}{U} * \delta \right) * N = (4.167 + 0.167) * 12 = 52.008 \text{Ah}$$

式中：Q 一每日用电量，Ah；Q_f 一平均负载，Ah；Q_δ 一逆变损耗，Ah；P_w 一工作模块功率，W；P_k 一控制器功率，W；N—每天用电小时数，h；U—系统电压，V；

3.3 波浪能效率计算

不考虑能量吸收装置的非线性作用，浮子的垂荡运动方程可写为：

$$-\omega^2(M + u_{33})\ddot{A}_{33} + i\omega(B + c)\dot{A}_{33} + kA_{33} = F_{\omega}$$

式中， ω 为浮体运动频率；M 为浮体质量； u_{33} 为浮体的垂荡附加质量；B 为波浪产生的阻尼；c 为附加 阻尼； A_{33} 为浮体垂向位移；k 为浮体的总刚度系数； F_{ω} 为垂荡方向所受到的合力。活塞杆及浮子的纵摇运动方程可写为

$$(I_1 + u_{55})\ddot{\theta}_1 + \lambda_{55}\dot{\theta}_1 + C_{55}\theta_1 = m_{55}$$

式中， I_1 为活塞杆及浮子相对于铰接点的纵摇惯量； u_{55} 为浮子纵摇引起的相对于铰接点附加惯量； λ_{55} 为浮子纵摇引起的阻尼系数； C_{55} 为静水纵摇回复力系数； m_{55} 为浮子纵摇产生的相对于铰接点的波浪 扰动力矩； θ_1 为活塞杆及浮子纵摇的角位移。

经求解，得出浮子在时域情况下的垂荡和纵摇提供的能量公式，

$$P_1 = C_{Pot1} \|u_r\|^2$$

$$P_2 = C_{Pot2} \|u_R\|^2$$

式中， P_1 为垂荡提供的能量； P_2 为纵摇提供的能量； $u_r = -i\omega z_r$ ； z_r 和 u_r 分别为浮子相

对于活塞杆间的 相对复位移和相对复速度； C_{Pot_1} 为垂荡负载阻尼； C_{Pot_2} 为纵摇负载阻尼； u_R 为浮子在纵摇时的角速度。 单位宽度波浪的能量为

$$P = \frac{\pi}{2kT} \rho g \left(\frac{H}{2}\right) \left(1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh}\right)$$

式中，H 为波高， ρ 为海水密度，h 为水深，k 和 T 分别为波数和周期。由于本文不考虑能量转换的内部损耗，则发电装置的垂荡和纵摇波浪能初步转化效率 η_1 和 η_2 。

$$\eta_1 = \frac{P_1}{PD}$$

$$\eta_2 = \frac{P_2}{PD}$$

式中，D 为浮子的直径。

3.4 实际工况

统计处理数据结果：

当月 5-12 天为阴天时，充电一次，太阳能发电板可完全保证水面清理器电能的自给自足。

当月 12-20 天为阴天时，充电两次，太阳能发电板结合风力发电互补保证水面清理器的自给自足。

当月 20-31 天为阴天时，充电三次，太阳能发电板结合风力发电与波浪能发电可以保证 15 天的供电需求。

3.5 运行速率计算

以某区人工湖（图 11）为例：

以该湖形状的不规则点作为参考点，两点之间距离为工作距离，分别记录出清理装置运行所需的时间以及运动距离如表 1 所示，并计算出装置工作运行速率如图 12 所示。

| 第一次工作速度实验数据 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 相邻位置点Sxy | Sab | Sbc | Scd | Sde | Sef | Sfg | Sgh | Shi | Si j | Sjk | Sk l | Slm | Smn | Sno | Sop | Spq | Sqa |
| 距离/m | 9.6 | 14.7 | 47.9 | 18.9 | 19.8 | 57.1 | 14.4 | 12.7 | 10.6 | 16.0 | 10.8 | 27.9 | 44.6 | 51.1 | 28.9 | 18.8 | 19.8 |
| 时间/s | 2.4 | 3.7 | 10.5 | 4.1 | 4.2 | 13.6 | 3.8 | 2.7 | 2.6 | 4.0 | 2.3 | 14.1 | 11.1 | 10.9 | 15.2 | 4.5 | 4.2 |
| 平均速率/(m/s) | 4.0 | 3.9 | 4.6 | 4.6 | 4.7 | 3.9 | 3.8 | 4.7 | 4.1 | 4.0 | 4.7 | 2.0 | 4.0 | 4.7 | 2.0 | 4.2 | 4.7 |

表 1 装置运行速率表

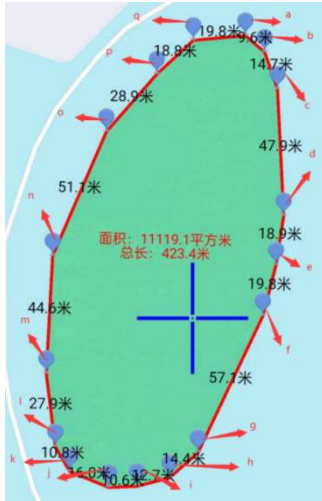


图 11 某区人工湖卫星定位点图

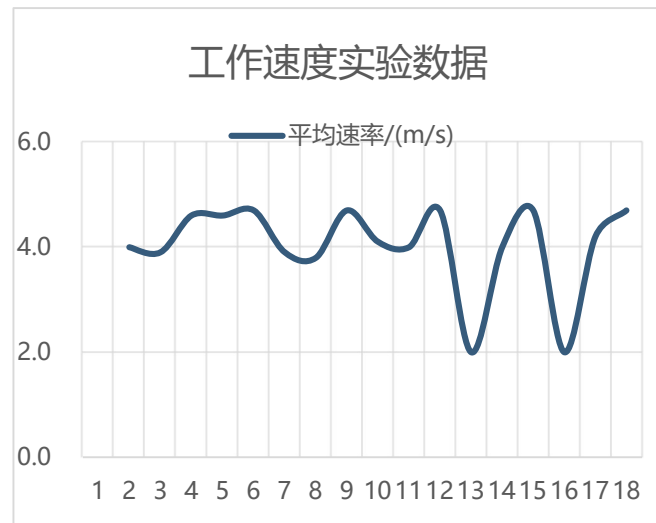


图 12 工作速率图

由图中可得出本装置平均运行速率为 **4.04 m/s**(即 **14.544 km/h**)。

3.6 垃圾收集效率计算

以一天内在该人工湖内工作 12 小时为例，测得本装置每小时段内收集的垃圾重量如图 13 所示：

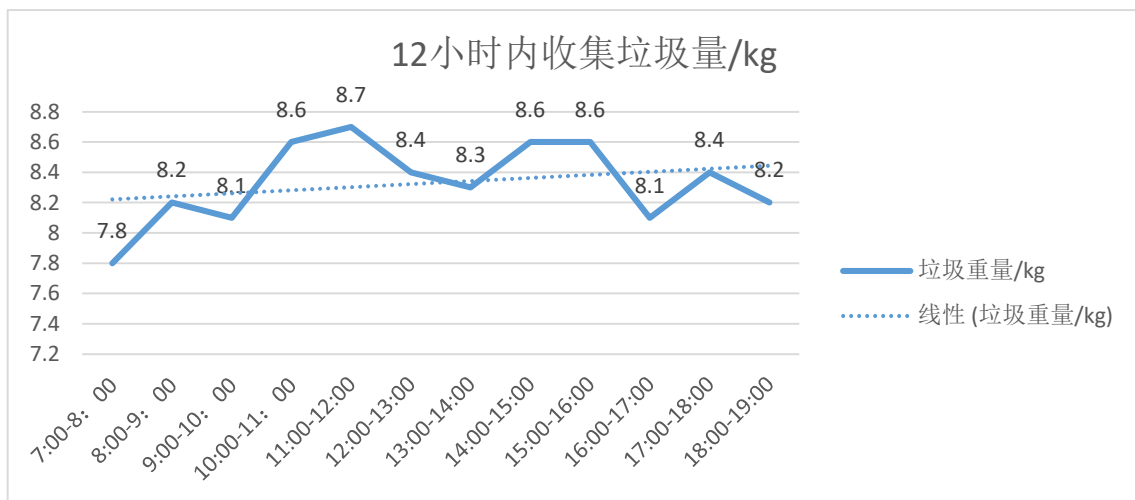


图 13 12 小时内本装置收集的垃圾重量

由图可得知本装置一天内可以收集 **100kg** 左右的水面垃圾，收集效率大约为 **8.33kg/h**。

4 创新点

- 节能无污染**：采用太阳能、风能、**波浪能**作为动力来源；
- 垃圾箱体**：全部采用细钢丝网制成，可将垃圾全部挡住同时将水流排出。船体后部的垃圾箱装置采用可进行快速拆卸、倾倒垃圾后继续作业，从而提高了清理船的工作效率；垃圾箱后方安装**水体净化装置**，装置中有体积占用率低、重量轻、易携带的活性炭包，起到净化水质作用。
- 解放劳动力**：仅需一名操作人员即可完成垃圾收集工作，同比传统人工打捞船的**人员**

需求减少 66%;

4. **采用无线遥控**: 取代智能搜索识别垃圾的功能, 避免自动搜索垃圾消耗大量能源, 从而提高垃圾收集的效率, **垃圾收集效率类比智能搜索水面垃圾装置提高 76%**;

5. **清理对象广泛**: 不仅可以清理水面垃圾, 也可以收集浮萍等浮生植物, 利用活性炭过滤吸附水中微小悬浮物, 达到净化水质的作用。

6 **稳定控制**: 采用叶轮和螺旋桨两套推进系统组成双动力装置并且双向推进, 避免水草缠绕问题的同时保持行进时的驱动力和精确的转向控制, **极大提高装置运行效率**;

7. **结构简单成本低**: 实现零半径转向, 无周期传送带回收, 效率高, 易于维修, 成本较低, 易于推广。

5 应用前景及市场经济

5.1 应用前景与节能减排分析

5.1.1 节能减排分析

- (1) **波浪能、风能、太阳能**持续提供能源, **减少能源消耗**, 提高装置持续**续航能力**, 平均每月减少一次至三次充电次数。采用合理的配电方式, 电气设备选用节能型产品, 照明设计推广绿色照明工程产品, 选用高效节能灯具。
- (2) 垃圾收集箱内装有**水质净化装置**, 利用活性炭过滤吸附水中微小悬浮物, 达到**净化水质**的作用, 减少水面**垃圾排放**的危害。
- (3) 清理过程不需要有人专门看护, 在船只进行过程中自动收集, 每五台装置每年可**节省人力资源花费约 3-8 万元**。太阳能发电和活性炭吸附杂质, 使船体工作时既**节能又环保**。

5.1.2 应用前景

随着城市化的加快, 我国垃圾的产生量在迅速增长。目前, 我国垃圾年产量已超过 1.4 亿吨, 年平均增长率约为 8%。而这其中有很大部分的生活垃圾被随意丢弃, 严重污染了自然环境, 破坏生态平衡。本作品是为**水上漂浮垃圾清理**而设计, 可有效利用现有船舶资源, 结构简单。若大规模推广, 不仅对我国**废弃垃圾回收清理**有很大益处, 还可产生比较大的社会效益及经济效益。

5.2 经济效益

以一次工作 12 小时为例得出表 2:

| 漂浮垃圾清理装置与其它打捞垃圾方式的相关比较 | | | | | | | |
|------------------------|-------|----------|----|--------|--------|-----------|---|
| 方式 | 需要人工数 | 装置数 | 动力 | 一天相关开销 | 清理垃圾重量 | 收集效率 | 分析 |
| 人工清理 | 24 | 打捞网: 24个 | 人力 | 2400元 | 80kg | 6.67kg/h | 相比人工清理, 占用劳动力少、清理垃圾效率高 ; 同比打捞船, 在相同工作量的情况下, 消耗是其1/4 , 且更加环保 |
| 人工驾驶打捞船 | 3 | 打捞船: 1艘 | 柴油 | 4000元 | 200kg | 16.67kg/h | |
| 本清理装置 | 5 | 本装置: 5个 | 电力 | 500元 | 100kg | 8.33kg/h | |

表 2 一天内工作 12 小时效益表

在现实生活中一周平均清理水面垃圾三次, 那么经过计算可以得出: 一年内在完成相同的工作量下, 本清理装置相较于传统打捞船开销减少 **46.9286 万余元**、相较于人工清理开销减少 **31.2857 万余元**, 并且本装置在制造成本(表 3)上占领大幅优势。

| 清理装置造价表 | | | | | | | |
|---------|---------|------|-----------------------------------|-----|-------|----|-----|
| 材料名称 | 铝型材（1m） | 电子元件 | 泡沫板（ $1m \times 1m \times 0.2m$ ） | 螺旋桨 | 3D打印件 | 扇叶 | 总价 |
| 数量 | 4根 | 若干 | 2块 | 2个 | 若干 | 2个 | |
| 价钱/元 | 48 | 336 | 24 | 78 | 60 | 14 | 560 |

表 3 小型水域垃圾清理装置成本清单

参考文献

[1] 华洵, 基于 arm 的水上垃圾清理机器人设计方法[C]. 江苏, 江苏省无锡市第一中学, 2019.

[2] 杨云, 张林, 刘镭等, 小型水面垃圾清理机器人[J]. 兵工自动化, 2018, 37 (03): 44-47, 59.

[3] 牛永华, 浅谈水面垃圾清理装置[J]. 陕西水利科技, 2018 (4): 77-79.

[4] 谢楷, 赵建. MSP430 系列单片机系统工程设计与实践[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.

[5] 袁斌华, 高晓红, 张彬, 等, 小型水面垃圾清理机器船的设计与实现[J]. 陇东学院学报, 2017, 28(1): 24-29.

[6] 曾义聪, 刘建发, 谢秋敏, 等. 水面漂浮垃圾清理机的设计研究[J]. 徐州工程学院学报(自然科学版), 2013, 28(1): 69-73.

[7] 张玉新, 王帅. 水面垃圾清理船执行机构的仿真设计与研究[J]. 机械设计与制造, 2011 (4): 62-64.