

doi: 10.7690/bgzd.2018.04.019

# 一种涡旋式水面清洁机器人

朱盛颖, 郭旭玲, 邓彦松

(西南民族大学电气信息工程学院, 成都 610000)

**摘要:** 为克服水面清理机器船结构复杂、清理难度大和效率低等问题, 提出并研发一种涡旋式水面清洁机器人。此机器人以产生涡旋卷入垃圾为设计原理, 结构简单且自适应能力强, 就其机械体系结构及动力系统、清洁系统、供能系统和通信系统等展开详细阐述。研究表明: 该机器人能够实现水面垃圾清理, 能保护环境和高效利用资源, 对我国水域清理起到较为重要的意义。

**关键词:** 涡旋; 水面清洁; Arduino; 太阳能; 机械结构

**中图分类号:** TP242 **文献标志码:** A

## A Vortex Water Surface Cleaning Robot

Zhu Shengying, Guo Xuling, Deng Yansong

(College of Electrical &amp; Information Engineering, Southwest Minzu University, Chengdu 610000, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of complex structure, difficult cleaning and low efficiency of the water surface cleaning machine ship, a vortex water surface cleaning robot is proposed and developed. The robot is designed to generate vortex involvement in collecting waste, its structure is simple and adaptive ability is strong, in this paper, the mechanical system structure and the dynamic system, cleaning system, power system and communication system in detail. The results show that the robot can clean the surface of water, protect the environment and use resources efficiently, and it has great significance for the cleaning of water in our country.

**Keywords:** vortex; water surface cleaning; Arduino; solar energy; mechanical structure

## 0 引言

近年来, 我国陆续建立了许多大型水电站和水库, 在各景点和娱乐场所也都建立了假山和人工湖。由于一次性包装食品的大量生产和消费等原因, 致使江、河、湖泊、水库上漂浮大量垃圾, 引发严重的生态问题, 尤其是航运河道、发电站前池, 若不及时清理, 将会影响航道运行、发电机组正常运转。目前, 大部分地区依旧采取人工驾驶船打捞清理的方式, 工作效率低, 人力资源耗费大; 因此, 不少水面垃圾清理机器船应运而生。国内外清理水面漂浮垃圾的设备及方法大致可分为: 悬臂式安装和机械格栅, 但都存在结构复杂、对安装要求高、清理能力有限等缺点<sup>[1-2]</sup>。

为克服水面清理机器船结构复杂、清理难度大和效率低等一系列问题, 笔者从实际出发, 秉承“绿色环保、节能便捷”的理念, 以流体力学、机械结构设计、远程控制等作为理论基础, 并结合软硬件技术, 设计一款涡旋式水面垃圾清理机器人。该机器人能高效安全地实现全天候的打捞水面漂浮垃圾工作, 能节约并有效利用资源, 具有结构简单、活动灵活的特点。

## 1 总体设计方案

涡旋式漂浮垃圾清理机器人, 是一种悬浮于人工湖、水电站、水库等各种水域中用来自动收集水面漂浮物的环卫设备, 主要由浮动平台、供能模块、动力模块、清理模块、报警模块和遥控模块组成。涡旋式水面清洁机器人设计框图如图 1 所示。

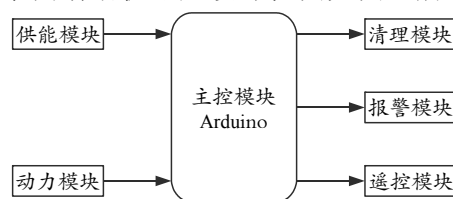


图 1 设计框图

机器人最上方安放太阳能电池板, 作为供能系统; 其正下方为机器人舱体, 分为收集舱、真空舱 2 个舱体。收集舱内含垃圾滤网、直流潜水泵; 真空舱内含电瓶、主控板等, 舱内整体密封, 以一真空钢管引出舱内线路, 保证与外部通信。舱体外部镶嵌 2 部水下推进器; 体外壁上部有 2 个进水口, 与进水口同一水平线以钢架固定着 2 个长方体浮台, 控制机器人悬浮位置及保证其平衡性<sup>[3]</sup>。机器人悬浮于水体中, 其表面两侧的进水口中线与水平

收稿日期: 2017-12-25; 修回日期: 2018-01-26

作者简介: 朱盛颖(1997—), 女, 云南人, 白族, 从事电子信息工程研究。

面重合。

通过控制潜水泵排水流量，使得舱体内水平面与外界水平面形成固定液位差，漂浮垃圾随水流一起通过进水口被吸入舱体内部的垃圾滤网，水体通过滤网后，由水泵吸收排除机器人舱体外，实现垃圾与水体分离，如此反复循环，直至垃圾箱收满启动报警，再通过远程控制让机器人返回更换垃圾箱。

## 2 结构及模块设计

### 2.1 机器人整体机械结构设计

机器人结构如图2所示。



图2 机器人结构

在机器人的机械结构设计过程中，需要保证机器人抗水压性能强和能稳定悬浮于水面且控制水位差。笔者通过分析计算确定机器人的机械结构、整体高度及质量等具体设计指标。

为保证抗水压性能，笔者首先考虑2种模型：圆柱体舱体和长方体舱体。设薄膜应力在舱壁断面均匀分布，且沿切向作用于表面，对于承受外压的舱体，应力都是产生在舱体壁上。应力状态是3维的，包括3个基本力：径向应力 $\sigma_r$ 、轴向应力 $\sigma_a$ 、切向应力 $\sigma_t$ 。其中，径向应力是压力直接作用于舱壁的结果，并产生等于压力的压应力，在薄壁容器中此应力远小于其他应力，故可忽略。圆柱体和长方体舱体静载结构分析的结果如表1。

表1 圆柱体和长方体舱体静载结构分析的结果

舱体模型	等效应力/MPa		总变形位移/mm	
	最大值	最小值	最大值	最小值
圆柱体舱体	21.505 00	1 060.50	4.644 8	13.851
长方体舱体	0.101 73	174.95	0	0

据相关资料显示分析可以知道：圆柱体舱体承受静载强度明显大于长方体舱体，具有良好的抗压能力<sup>[4]</sup>，故选择圆柱体舱体，以不锈钢打造。

然后考虑控制水位差，据阿基米德物体浮沉定

律，作用于水中物体上的浮力的大小大于物体所排开水的质量。此机器人为圆柱体，底部和空腔都会受到水的压力，这种压力就是竖直向上的浮力，同时机器人的四周也会受到水的压力，但圆柱体以圆心为中心，整个舱壁所受压力大小相等，方向相反，以微积分原理单位化拆分，相互抵消。控制水位差的关键在于控制水泵的排水量和速度，以及机器人的吃水深度，在此以浮动平台辅助控制。此机器人正常工作时悬浮在水面，收集舱内本身有一定水位高度，且不停有水流流入，故舱内几乎充满水，提供的浮力可忽略，主要由真空舱和浮动平台提供浮力。根据参数计算：机器人舱体、太阳能板支架、法兰盘及固定浮动平台和水下推动器的钢架质量共为8 kg，太阳能板质量为2.5 kg，备用电瓶质量为13 kg，总计23.5 kg，真空舱高度 $h$ 为150 mm，半径 $r$ 为170 mm，由

$$F_{\text{浮}} = G_{\text{排}} = m_{\text{排}}g = \rho_{\text{液}}gV_{\text{排}} = \rho_{\text{液}}g\pi r^2 h = \\ 1.0 \times 10^3 \times 1.0 \times 10^3 \times \pi \times 0.17 \times \\ 0.17 \times 0.15 = 13.62 \times 10^3 \text{ N}$$

可得，真空腔可承载约13.62 kg，约9.88 kg需以高分子聚乙烯制成的浮动平台提供浮力，把浮动平台固定于收集舱舱壁入水口两侧，提供浮力控制吃水深度，同时保持机器人的平衡，浮动平台每平方米可承载325 kg，物体质量约7 kg。通过 $x/9.88=7/325$ 和实际测量结果，笔者取2个约0.11 kg的长方体固定于入水口两侧，为防止形成死角，再以弧形塑胶膜衔接入水口和长方体壁，由此在机器人入水口处形成一个弧型范围，此方法能削弱该范围的水波干扰，同时也防止垃圾“跑开”，减小了其不稳定因素，使得垃圾顺利流入入水口，进入收集装置。

### 2.2 能源系统

因需要清理的水域绝大部分处于户外且无遮挡物，故大多时候能接收到太阳光，在此，笔者采用光合硅能太阳能电池板给12 V，38 ah蓄电池太阳能电瓶充电作为主要供能系统。把太阳能板以支架固定在机器人舱体上方，接收太阳光，经室外测量，此30 W单晶硅太阳能发电板光电转换效率约12%，稳定条件下高达18%，同时通过溶胶凝胶法高质量镀膜，保证高发电量和长期稳定性，转换的电流通过稳压电路整流滤波存储于电瓶，若遇持续阴雨天，电瓶亦可人工充电；因此，该机器人续航能力极强，可全天持续工作于水域，无光照大约连续工作4.5 h，可有效利用资源。

### 2.3 动力系统

此机器人以 2 个 12 V，功率 90 W 的水下推进器作为动力系统，推进器以 O 圈密封，在水中最大转速  $n$  可达 2 200 r/min。推进器结构如图 3 所示。

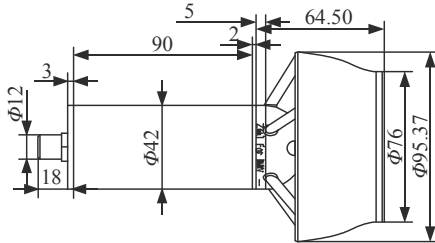


图 3 推进器结构

#### 2.3.1 推进器推力特性分析

由主机带动推进轴一起转动，将水从桨叶的吸入面吸入，从排出面排出，利用水的反作用力推动机器人前进。其中： $\rho$  为水密度； $n$  为螺旋桨转速；螺旋桨直径  $D=0.254$  m；螺旋桨螺距  $P=0.228$  6 m。设螺旋桨在相同轮速情况下以速度  $v_A$  (螺旋桨进速) 匀速运动，螺旋桨输出推力的计算式为：

$$T = K_T \rho n^2 D^4 \quad (1)$$

其中  $K_T$  为螺旋桨的推力系数。

$$K_T = K_{T\theta} / (1-t) \quad (2)$$

根据此螺旋桨盘面比  $\theta=0.55$ ，叶片数为 4，螺距比  $D/P=1.1$ ，查图可得  $K_{T\theta}$  为  $J_P$  的二次多项式<sup>[5]</sup>，据计算得此曲线方程近似为

$$K_{T\theta} = -0.094 J_P^2 - 0.313 J_P + 0.48 \quad (3)$$

对于单螺旋桨，推力分数  $t$  可近似等于

$$0.001979L / (B - BC_{P1}) + 1.0585C_6 - 0.000524 - 0.1418D^2 / BT_1 \quad (4)$$

据实际参数水线长度  $L=0.89$  m，舱体宽  $B=0.34$  m，平均吃水  $T_1=0.358$ ，有：

$$C_{P1} = 1.45C_P = 0.315 - 0.0225L_{CB} \quad (5)$$

$$C_P = V_{排} / SD \quad (6)$$

由于真空腔内电瓶质量 13 kg 与收集腔工作时质量 13.62 kg 近似相等，故几何中心可近似看作浮心，故  $L_{CB}=0.179$ 。因为  $L/B < 5.2$ ，所以

$$C_6 = 0.25 - 0.003328402 / (B/L - 0.134615385) \quad (7)$$

将式(5)一式(7)代入式(4)，计算得  $t=0.197$ 。

而螺旋桨进速系数的计算式为：

$$J_P = v_A / (nD) \quad (8)$$

将其代入式(3)得  $K_{T\theta}$  表达式，再结合式(1)、式(2)即可推算出以速度  $v_A$  匀速运动的推力

$$T = 1.83n - 6.96v_A n$$

据此关系式可根据控制转速  $n$  来有效调节推进器推力以此控制速度。

#### 2.3.2 基于 Arduino 控制推进器原理及设计

调速的机理是改变直流电机的输出转矩，负载转矩不变时，输出转矩增大，使转速增加。调速的方式有 3 种：调节电枢供电电压、减弱励磁磁通和改变电枢回路电阻。

此机器人要求在一定范围内无极平滑调速，以调节电枢供电电压的方式最好，系统采取 PWM 脉宽调制的方式驱动推进器，把恒定的直流电源调制频率一定、宽度可变的脉冲电压序列，从而可改变平均输出电压大小，得以调节电机的转速<sup>[6]</sup>。

通过读取指定的模拟引脚数据值，获取遥控发出的信号，以算法得出结论，改变占空比。Arduino 板包含一个 6 通道，10 位模拟数字转换器。这意味着它将 0~5 V 之间的输入电压映射到 0~1 023 V 之间的整数值，再用 map(value, fromLow, fromHigh, toLow, toHigh) 函数把模拟引脚读取的数据值 0~1 023 映射成 0~255 PWM 输出，引脚输出模拟值的函数为 analogWrite(pin, value)，可驱动电机以不同的转速旋转。通过变换数据区间，以不同占空比控制推进器转速及正反转。

### 2.4 垃圾收集系统

垃圾收集结构的设计利用了物理学及流体学原理，收集原理结构如图 4 所示。

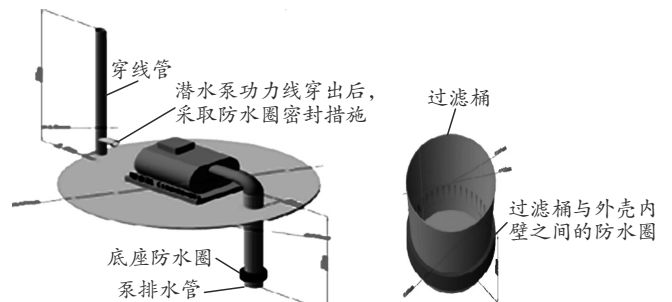


图 4 收集原理结构

在收集舱底部放置潜水泵，继电器连接水泵，结合遥控通信技术，以主控板 Arduino 控制继电器实现远程控制水泵开关，水泵有向上排水和向下排水 2 种工作方式，水泵正上方放置 3D 打印的滤网，此滤网利用光固化和纸层叠等方式快速成型，打印精度和集成度较高。当机器人悬浮于水面工作时，在浮动平台辅助下，外界水面正好控制于入水口中线，此时启动水泵开关，采用向下排水方式，设置

好排水量以形成水位差，产生涡流并利用流水粘滞力将水和漂浮的垃圾一起卷入垃圾滤网中，经冲力及过滤，水由排水管排出，而垃圾留在滤网桶内，由此循环往复直至垃圾积满。当垃圾桶积满回到出发点后，遥控控制水泵向上吸水，可瞬间抽干收集舱内的水，随即收集舱提供巨大浮力，机器人浮出水面，方便人工取垃圾。

## 2.5 报警系统

使用红外光电对管检测垃圾桶是否积满垃圾，其基本的构造包括瞄准孔、光束强度指示灯、球面镜片、LED 指示灯等。其侦测原理就是利用红外线经 LED 红外光发射二极管，再经光学镜面做聚焦处理使光线传至很远距离，由受光器接受。当光线被遮断时就会发出警报。红外线是一种不可见光，而且会扩散，投射出去会形成圆锥体光束。红外光不间断 1 s 发 1 000 光束<sup>[7]</sup>。将其红外光电对管的发射管和接收管以相对形式置于垃圾桶最上方的桶壁，并以通过激光技术用玻璃将其密封防水，设定算法，读取相应 IO 口状态，当持续 50 s~1 min 光线被遮断时，则代表垃圾桶积满。

## 2.6 控制系统

以 PS 手柄作为机器人的远程控制的通信模块，PS2 手柄由手柄与接收器 2 部分组成，手柄主要负责发送按键信息；接收器与主控板相连，用于接收手柄发来的信息，并传递给主控板，主控板也可通过接收器，向手柄发送命令，配置手柄的发送模式。接收器共有 9 个引脚：DI/DAT：信号流向，从手柄到主机；DO/CMD：信号流向，从主机到手柄；NC：空端口；GND：电源地；VDD：接收器工作电源；CS/SEL：用于提供手柄触发信号；CLK：时钟信号；NC：空端口；ACK：从手柄到主机的应答信号。

如图 5，笔者编写 Arduino 程序，将手柄设置为红灯模式和绿灯模式分别控制推进器和水泵，然后主控板通过 PS2\_ReadData() 读取手柄数据，不同按键和摇杆上下左右分别对应不同模拟值，以

PS2\_TurnOnAnalogMode() 函数发送数据，与推进器和水泵进行通信，把摇杆的模拟值以区间的方式映射为推进器不同的转速，实现远程控制机器人运动；同理把按键的模拟值与水泵的工作模式及开关对应，实现其工作模式的转换及开关控制。

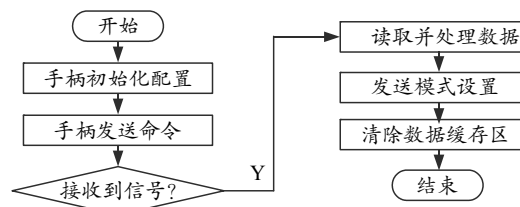


图 5 控制系统流程

## 3 总结及展望

该涡旋式水面清洁机器人克服了以往打捞船外形庞大、成本高、工作区域受限的缺点，适用于小型水域垃圾打捞，符合“绿色环保”“资源利用”“可持续发展”的理念，具有工作效率高、结构简单灵巧、适用面广等优点。随着我国经济、工业的进一步发展，保护环境成了不可忽视的问题。该机器人的产量化生产及应用，也将对我国水域清理起到重要意义。

## 参考文献：

- [1] 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.
- [2] 戴志光. 小型水下机器人本体结构设计及水动力仿真[D]. 扬州: 扬州大学, 2012: 1.
- [3] 卜子雯, 王茂森, 戴劲松. 弹跳机器人机构设计及动力学分析[J]. 兵工自动化, 2017, 36(5): 85-87.
- [4] 进军, 陈光柱, 夏小东. 煤矿井下救生舱舱体结构设计与分析[J]. 煤矿机械, 2011, 32(12): 13-15.
- [5] 洪修. 单桨船螺旋桨推力计算方法研究[D]. 大连: 大连舰艇学院, 2007: 400-403.
- [6] 晓旭, 张正栋. 自主水下航行器回收过程中螺旋桨推力特性分析[J]. 兵工学报, 2017, 38(6): 1154-1160.
- [7] 为杜. 红外检测技术基本原理及应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998: 1-2.