

doi: 10.7690/bgzdh.2018.03.010

## 小型水面垃圾清理机器人

杨云<sup>1</sup>, 张林<sup>1</sup>, 刘榕玮<sup>2</sup>, 杨世强<sup>1</sup>, 高京<sup>1</sup>, 李慎将<sup>1</sup>

(1. 吕梁学院矿业工程系, 山西 吕梁 033001; 2. 吕梁学院化学化工系, 山西 吕梁 033001)

**摘要:** 针对小型河流、人工湖和水上游乐场等场所的水面垃圾清理问题, 提出一种机动灵活、作业效率高、外型美观的小型水面垃圾清理机器人设计方案。对船体、垃圾收集舱、动力装置、捕捞机构和控制舱等机械结构进行设计, 并对样机进行室内水池和室外人工湖的清理测试。测试结果表明: 机器人能在狭小或较浅且有水草分布的水域快速达到水面垃圾处, 能将漂浮垃圾打捞到垃圾收集舱并运至指定地点, 具有结构简单、成本低廉的特点, 有一定实用价值和市场前景。

**关键词:** 垃圾清理; 水面垃圾; 小型机器人

**中图分类号:** TP24 **文献标志码:** A

## Miniature Water-surface Garbage Cleaning Robot

Yang Yun<sup>1</sup>, Zhang Lin<sup>1</sup>, Liu Rongwei<sup>2</sup>, Yang Shiqiang<sup>1</sup>, Gao Jing<sup>1</sup>, Li Shenjiang<sup>1</sup>

(1. Department of Mining Engineering, LYUliang University, LYUliang 033001, China;

2. Department of Chemical, LYUliang University, LYUliang 033001, China)

**Abstract:** Aimed at the problem of cleaning water-surface garbage in small rivers, artificial lakes and water playgrounds, a kind of miniature clean-up robot with flexible operation, high efficiency and good appearance is proposed. The structure of the robot was designed, including hull, garbage collection bin, power device, salvaging device, control cabin and so on. The prototype is made and placed in indoor pool and artificial lake for testing. The test results prove that the robot can quickly reach the location of surface-water garbage in narrow water area or shallow water area with aquatics, then it can salvage floating garbage into the garbage collection bin, and take it to the designated location. The inexpensive robot with simple structure has a certain practical value and market prospects.

**Keywords:** garbage clean; water-surface garbage; miniature robot

### 0 引言

在河流、湖泊、港口等水域, 由水面垃圾形成的污染较为严重, 给人们的生存环境和开发利用旅游资源等带来负面影响。对于水面垃圾的清理, 目前基本采用人工乘船打捞的方法。但是该方法有一定的限制, 小型河流、人工湖和水上游乐场等场所, 经常会存在水面较窄或水深较浅的区域, 船体无法通过导致打捞困难; 同时, 一些污染比较严重的水域也不适合工人前往打捞; 此外, 对于部分景观湖和河流, 人工打捞也会影响周围环境的美观<sup>[1-2]</sup>。而目前的水面垃圾清理装置大多为自动化水平较高的大型综合清污船等水面固体垃圾收集机械<sup>[3-4]</sup>, 其续航能力好、功能强大, 却因体积庞大而在狭小水域移动不便、工作效率低、动力消耗和使用成本过高等, 无法适应小型河流、人工湖和水上游乐场等场所的水面垃圾清理需要。

针对以上问题, 笔者设计一种机动灵活、作业效率高、外型美观、成本低的小型水面垃圾清理机器人方案。

### 1 设计要求

在设计适用于小型河流、人工湖和水上游乐场等场所的水面垃圾清理机器人时需考虑以下问题:

1) 该类场所的水面漂浮垃圾种类较多, 主要有饮料瓶、塑料袋、烟盒、泡沫、树叶等, 大多数漂浮物具有体积较小、分布较为分散的特点。

2) 该类场所存在较多狭小或较浅的水域, 水面垃圾清理装置需体积小、机动性强方能正常运行; 同时, 装置需具有结构简单, 价格低廉, 有良好的防水性能, 便于携带和维护等特点。

3) 作业时会遇到水草, 水草经常会缠绕清理装置并使其无法脱离。这就要求水面垃圾清理装置必须能在一定程度上解决水草缠绕问题, 确保机器人能在作业过程中避免或脱离缠绕并且顺利返航, 而不是被缠绕后让人工进行打捞。

4) 由于体积和动力限制, 水面垃圾清理装置必须在较小的体积和质量下尽可能地增大垃圾收集舱的体积, 从而提高作业效率。

收稿日期: 2017-12-31; 修回日期: 2018-01-12

基金项目: 吕梁学院青年自然科学基金项目(ZRQN201508)

作者简介: 杨云(1989—), 男, 山西人, 硕士, 助教, 从事机电控制方面的教学与科学研究。

## 2 总体方案设计

现有的水面垃圾清理装置根据打捞方式不同，可以分为带传动式、抓斗式和铲斗式3类。带传动式<sup>[2,5]</sup>收集方式较为常见，外形如履带，由链轮、捞杆及过滤网组成，在进行清理垃圾时不需停下，能连续作业，收集效率高；但不太容易收集瓶子类垃圾，而且水草也容易缠绕在捞杆上，打捞不彻底。抓斗式<sup>[6]</sup>收集方式适合打捞大量聚集或体积较大的漂浮垃圾，抓斗体积大导致单次抓取量大；但能连续作业，需船体对垃圾定位后再进行抓取，打捞效率低，而且成本较高。铲斗式<sup>[1,4]</sup>收集方式使用范围广，可以连续作业，除较长的树枝外其余漂浮垃圾均可打捞，目前垃圾清理船采用该方式的比例较高。综合考虑，对于小型河流、人工湖和水上游乐场等场所的狭小或较浅的水域作业，铲斗式收集方式能够进行较为彻底的清理，所以笔者选择基于铲斗式收集方式来搭建小型水面垃圾清理装置。

综上所述并考虑设计要求，笔者设计了一种基于铲斗收集方式的小型水面垃圾清理机器人，采用双浮箱对称结构和抽拉式舱体来增大垃圾收集舱的体积，并利用螺旋桨和叶轮组成的双动力装置保障船体能够避免水草缠绕。在结构上可将其分为船

体、垃圾收集舱、动力装置、捕捞机构和控制舱5部分，总体结构如图1所示。

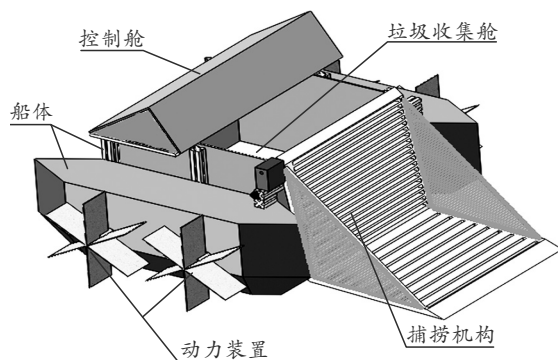


图1 小型水面垃圾清理机器人总体结构

## 3 机械结构设计

### 3.1 船体设计

船体采用两侧双浮箱对称结构，2个浮箱之间用铝制框架连接和固定，如图2所示，这样可以在中间部位留下足够的空间安装垃圾收集舱，在总体积一定的情况下有效扩大舱体空间，使垃圾收集舱体的空间占到总体积的1/2。船体两侧的浮箱形状设计为V字型，用以减小船体在水中行进的阻力；浮箱外壳为薄木板，填充材料选用质轻、浮力大的泡沫，既减轻了装置质量又增大了船体浮力。

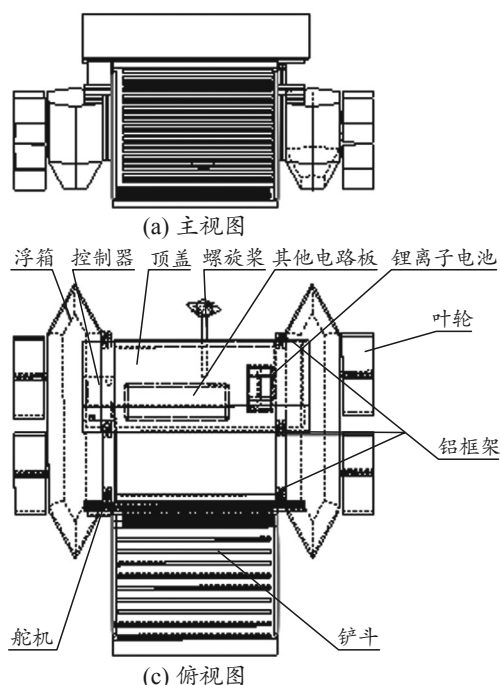


图2 小型水面垃圾清理机器人

### 3.2 垃圾收集舱设计

考虑到垃圾进入收集舱后会改变机器人的总质量和重心位置，从而改变吃水深度，并进一步影

响机器人在水面的运动参数和垃圾清理效率，笔者选用上方开口的透水长方体作为垃圾收集舱。

垃圾收集舱体放置于船体的铝框架内，由碳

纤维杆搭建框架，四周和底部覆盖纱网，在作业时，收集舱底部位于水面以下，水可透过纱网进入舱体，这样当垃圾进入收集舱后依然会漂浮在水面上，不改变船体的质量和重心分布。同时，收集舱仿造抽屉设计为可抽拉式，以便垃圾的取出和转运。

### 3.3 动力装置设计

目前水面清理装置多采用螺旋桨或叶轮进行驱动。螺旋桨在水下驱动，动力强劲，但转向不易精确控制并且极易卷入水草；叶轮在水面驱动，不易卷入水草，且可进行精确控制，但动力较弱，驱动效率低。在有水草的狭小或较浅的水域作业，2种驱动方式各有优缺点<sup>[7]</sup>。为了在解决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，小型水面垃圾清理机器人采用叶轮和螺旋桨2套推进系统组成双动力装置。在水草较多的区域作业或需要精确转向时，只使用叶轮进行水面驱动；在无水草的区域作业或需要快速推进时，则使用螺旋桨和叶轮同时驱动的方式。

如图3中俯视图所示，螺旋桨位于机器人底部的中间位置，使其整体埋于水下，桨叶连接防水无刷电机，其空载转速高达7 160 r/min，可进行快速推进。4个叶轮对称布置在船体2个浮箱的外侧，浮箱内部的泡沫中对称放置4个直流电动机用于驱动叶轮，作业时可通过分别调节4个直流电动机的转速改变机器人的行进方向和速度。经测试，叶轮尺寸对推进情况影响较大，尺寸过大会激起水波进而改变周围漂浮物位置，增大捕捞难度；而尺寸过小则会导致动力不足，降低推进效率并难以脱离水草区。叶轮尺寸与浮箱高度一致时情况最佳，笔者选择直径10 cm的叶轮。

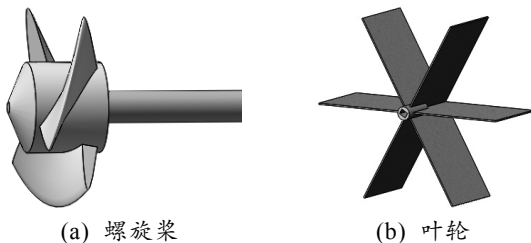


图3 2种水中推进系统

### 3.4 捕捞机构设计

捕捞机构的主体为铲斗，其框架由碳纤维杆搭建，外部覆盖可透水的纱网。为了简化机器人结构并实现铲斗旋转角度的精确控制，捕捞机构没有选用优化难度大的连杆机构来驱动铲斗，而是将铲斗

末端一侧直接与大扭矩防水舵机的转轴相连，舵机壳体固定于船体的铝制框架上，如图4所示，这样舵机转轴旋转时即可带动铲斗上下翻转，实现垃圾的捕捞并倾倒入垃圾收集舱。

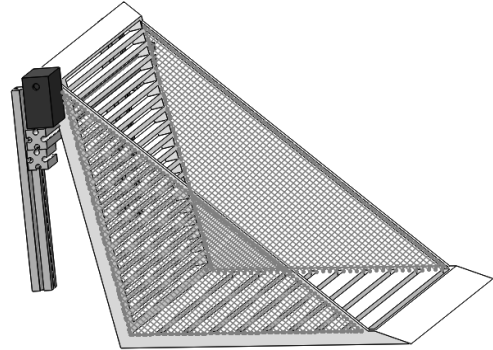


图4 捕捞机构

安装铲斗时需对其初始位姿进行调整，要求未捕捞时铲斗最前端浸没于水下5 cm左右，这样可提高捕捞塑料袋等半漂浮垃圾的成功率。作业时，铲斗在舵机的控制下由初始姿态翻转至竖直向上的位置，垃圾顺着铲斗落入垃圾收集舱，而捕捞垃圾时带起的水则会经由铲斗和垃圾收集舱上的纱网被滤掉，减轻舵机工作时的负载扭矩，延长机器人的使用寿命。

### 3.5 控制舱设计

控制舱放置于船体的铝框架顶部，为了提高舱体的防水性，将其形状设计为水平放置的三角柱体，如图1所示。当有水掉落在顶盖上时会顺着顶盖两侧流走。舱体内部放置有控制系统和电源，控制系统主要包括控制器、无线通信模块和电子调速模块等，电源选用可充电的锂离子电池，容量为3 200 mAh。

为了增强密封性能和美观性，整个机器人外壁覆盖无毒害的黑色防水聚氯乙烯亚光膜，使装置不被水侵蚀，能够在污染严重的水域中长时间工作。

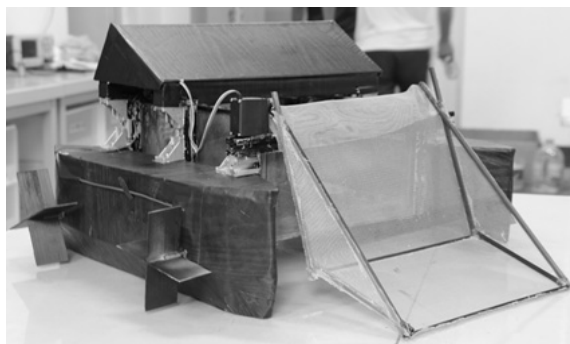
### 3.6 控制系统设计

考虑到水面漂浮垃圾种类较多，分布较为分散的特点，使用全自主的搜索和捕捞方式效率太低，所以小型水面垃圾清理机器人的控制采用基于LoRaWan协议的无线遥控方式。在水面寻找并捕捞垃圾的控制过程如下：机器人由初始状态出发后向前行进，在行进的过程中由操作者判断是否偏离了航线，如果没有偏离，则螺旋桨和叶轮2套动力装置全部开动快速推进；如果偏离，则通过遥控器降低螺旋桨转速，并分别控制4个叶轮的转速进行转

向,进而调整前进方向,如此循环,直到到达水面垃圾处,进行垃圾的捕捞和收集。

遥控器选用 PS2 摇杆扩展板,主要包括 Arduino 控制器、摇杆和 APC220 无线通信模块。主控制单元定义 PS2 摇杆扩展板的引脚,对摇杆范围进行划分,不同的状态对应不同的字符常量,具体来讲:W 代表前进;E 代表后退;R 代表左转;T 代表右转;O 代表捕捞动作;P 代表捕捞机构恢复初始状态。水面垃圾清理机器人的控制系统由 Arduino UNO 模块作为控制器,利用 Xbee 扩展板和 APC220 模块实现和遥控器的无线通信,采用 L298N 电机驱动板驱动叶轮的直流电机,通过 PWM 调速控制直流电机旋转速度,完成对机器人前进和转弯等行进动作的控制<sup>[8]</sup>。

将遥控器的控制器定义为主控制器,机器人的控制器定义为从控制器,采用 APC220 模块完成 2 个主从 Arduino 控制单元之间的无线通信。主控制单元将读取到的摇杆状态转换为字符常量,通过无线模块发送至从控制单元,从控制器进行识别处理,按照已经定义的电机及舵机的引脚执行作业中



(a) 样机和室内测试

的对应动作,控制系统整体组成框图如图 5 所示。

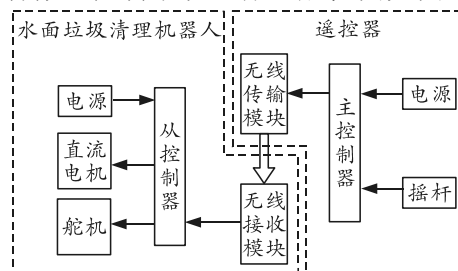


图 5 控制系统整体组成

#### 4 样机制作及测试

笔者根据小型水面垃圾清理机器人的机械结构和控制系统的设计,进行了样机制作。其船体采用镀锌铝型材搭建了基本骨架,浮箱和控制舱的外壳由木板经过激光切割成形,内部填充有泡沫,叶轮由 PLA 材料经过 3D 打印一体成型,而垃圾收集舱和捕捞装置则选用碳纤维杆构建框架,外部覆盖可透水的白色小孔纱网<sup>[9]</sup>。最后与机器人内部相应的位置配置控制系统电路和电源,形成如图 6 所示样机。经成本核算,该水面垃圾清理机器人的样机制作成本约为 500 元,与同类产品相比价格低廉。



(b) 室外人工湖测试

图 6 小型水面垃圾清理机器人样机和测试

为了改进小型水面垃圾清理机器人,笔者在室内小水池中进行了静止模式和工作模式下的测试,最后得到小型水面垃圾清理机器人的最终设计方案,如图 6(a)所示。该小型水面垃圾清理机器人尺寸规格为 0.47 m×0.45 m×0.30 m,垃圾收集舱规格为 0.26 m×0.25 m×0.15 m,总质量为 3.3 kg,在水面待机时长约 3 d,连续作业时工作时长 2~3 h,一次充电时长为 0.5~1.0 h。

为了进一步获得该机器人的性能参数,笔者在室外人工湖进行了水面垃圾的清理测试。如图 6(b)所示,该人工湖湖面长约 100 m,宽约 20 m,水深约 1 m。经测试,机器人在水中行进速度约 0.22 m/s,可以准确快速地到达水面垃圾处,并对垃圾进行捕捞、储运至指定区域,成功率高,性能稳定。由于

垃圾收集装置设计较大,约为 0.01 m<sup>3</sup>,以体积较大的矿泉水瓶为例,可一次收集 5~6 个。作业中机器人无噪声和废气排放,有效地保障水域环境的整洁与美观。

#### 5 结束语

针对狭小(或较浅)且有水草分布的水域的水面垃圾清理问题,笔者设计了一种小型水面垃圾清理机器人设计方案并制作了样机。在室内水池和室外人工湖的测试中,该机器人能快速到达水面垃圾处,将漂浮物和半漂浮物等水面垃圾打捞到装置内部并运至指定地点,成功率高,性能稳定。该机器人成本低、体型小、机动性强,具有一定实用价值和市场前景。