

doi: 10.7690/bgzdh.2022.02.020

## 水面垃圾清理机器人

刘伯运<sup>1</sup>, 赵帅<sup>1</sup>, 赵强强<sup>2</sup>, 赵培印<sup>2</sup>, 宋健<sup>2</sup>

(1. 海军工程大学动力工程学院, 武汉 430033; 2. 海军工程大学电子工程学院, 武汉 430033)

**摘要:** 为解决清理人工湖面、河流等小型水域漂浮垃圾耗费大量人力物力的问题, 设计一种基于机械化与自动化相结合的水面垃圾清理机器人。结构设计采用铝质平板支架, 下附双螺旋式滚筒推进器, 外加簸箕形垃圾收集网; 分析该机器人的整合设计、计算、校核。实验结果表明: 该机器人能灵活、精确地在水面上自由航行, 并通过人机交互对机器人进行控制, 实现其对水面垃圾的清理工作。

**关键词:** 水中机器人; 垃圾清理; 双螺旋式滚筒推进; 清洁能源

**中图分类号:** TP24 文献标志码: B

## Water Surface Garbage Cleaning Robot

Liu Boyun<sup>1</sup>, Zhao Shuai<sup>1</sup>, Zhao Qiangqiang<sup>2</sup>, Zhao Peiyin<sup>2</sup>, Song Jian<sup>2</sup>

(1. College of Dynamic Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China;

2. College of Electronic Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

**Abstract:** In order to solve the problem that it costs a lot of manpower and material resources to clean the floating garbage in small water areas such as artificial lakes and rivers, a water surface garbage cleaning robot based on the combination of mechanization and automation is designed. The structure of the robot is designed with aluminum plate bracket, double helical roller propeller and dustpan shaped garbage collection net. This paper mainly analyzes the integrated design, calculation and check of the robot. The test results show that robot can flexibly and accurately navigate on the water surface, and control the robot through human-computer interaction to clean up the garbage on the water surface.

**Keywords:** underwater robot; garbage cleaning; double helical roller propulsion; clean energy

### 0 引言

随着社会经济的快速发展, 人类的各种行为对环境造成了不良影响。随着环境问题的日益突出, 水质环境好坏已成为重点关注的问题。一些人工、自然的河流、湖泊及水上游乐场里的漂浮垃圾, 逐渐影响市民的生活用水、环境气候、市容市貌等与人们日常生活相关的方方面面<sup>[1]</sup>。

对于这类问题, 很多地区仍采用人工打捞的方法, 劳动强度大、工作环境恶劣、费时费力, 而且效率低下。近年来, 机械电子自动化成为现代器械工程的主流<sup>[2]</sup>。2015年, 全自动水面清洁无人船 MC120 亮相第十四届中国国际环保展览会, 自组网、通信中继、人工交互等一系列高科技技术手段助力该船, 使其化身为水面感知终端, 服务于智慧城市。作为全自动水面清洁船, MC120 在完成水面清洁任务的同时, 还兼具水底测绘以及搜索监测等功能。水面垃圾的自动化清理必将成为清理水面垃圾的主要方式<sup>[3]</sup>。

笔者利用双螺旋筒式推进装置, 配合陆上远程遥控, 制作出半自动式水面垃圾清理机器人, 能够实现水面垃圾的快速清理, 减少人力、物力、财力消耗。

### 1 研究与设计

全自动水面清洁无人船 MC120 如图 1 所示。



图 1 全自动水面清洁无人船 MC120

以完成小型水域漂浮垃圾清理任务为假设工作背景, 笔者主要以机器人的操作简便、制作成本低廉、与市场接轨程度高为设计基础。在保证满足水面垃圾清理功能的需求下, 尽可能做到清洁、环保、

收稿日期: 2021-10-21; 修回日期: 2021-11-20

作者简介: 刘伯运(1977—), 男, 福建人, 博士, 副教授, 从事船舶消防与灭火技术研究。E-mail: 157999945@qq.com。

易推广。在此理念下，该水面垃圾清理机器人具有以下特性：

1) 安全性：机器人采用遥控方式控制，可实现危险区域的远程操作，避免了人员在危险区域清理垃圾存在的安全隐患；

2) 机动性：双螺旋式滚筒推进器可适应多种复杂水域环境，差速控制确保了机器人的回转；

3) 清洁性：太阳能电池板，确保了机器人在水面的长时间续航能力，与锂电池相连充电。

该设计主要以清理垃圾、面向市场为目的。运用简单易操作的结构完成基本骨架的设计，采用质轻易得的材料，成本相对低廉；采用差速控制电机带动滚轮运动，加以远程遥控实现控制清理；制作过程消耗人力物力较少，后期对垃圾的清理工作也无需耗费大量人力物力，具有切实可行的实际价值。

### 2 控制系统设计

通过远程遥控、单片机主要控制、PWM 驱动，整个系统的运行状态可实时得到控制，以保证垃圾清理工作的顺利完成<sup>[4]</sup>。控制原理如图 2 所示。

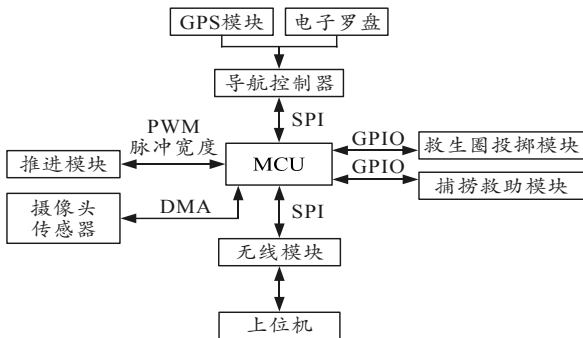


图 2 控制原理

如图 3 所示，主控部分采用 STM32F103C8T6 小系统板单片机对电机进行控制。



图 3 STM32F103C8T6 单片机

控制器接收来自远程遥控无线电波传递的输入信号，通过程序运行转化为 PWM 波驱动信号并传输给与之相连的 L298N 驱动装置，转而控制电机的转动，进而协调双螺旋滚筒转动，实现机器人的前进、后退、加速、减速。

CEPARK L298N V2.0 驱动板如图 4 所示，接收

主控板的命令，输入信息，通过 OUT1、OUT2、OUT3、OUT4 输出端口，对 2 组 4 台电机进行控制。

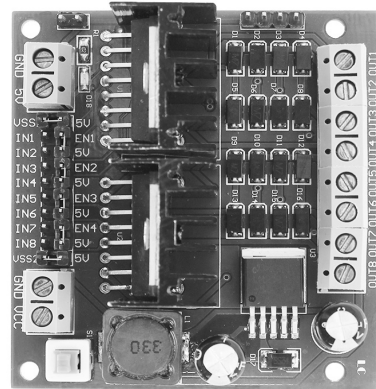


图 4 L298N 驱动板

根据实际情况，为使水面清理垃圾工作简洁、省力，采用远程遥控装置。利用 E61-TTL-1W 无线模块(如图 5 所示)和 433 MHz 可折天线制作接收装置。



图 5 无线模块

模块特点：该装置是一款高速型 433 MHz 无线传输模块。在“连接传输方式”下不限数据包的长度，完美实现 57 600/38 400/19 200 等串口波特率的连续不间断传输；“定长传输方式”下可灵活配置参数，将数据包在当前配置的空速率下以最高效的方式传输到对方，实现低延迟/高响应。

如图 6 所示，利用无线模块、降压模块、可折天线、发射装置等自制遥控装置，实现对机器人的远程控制。

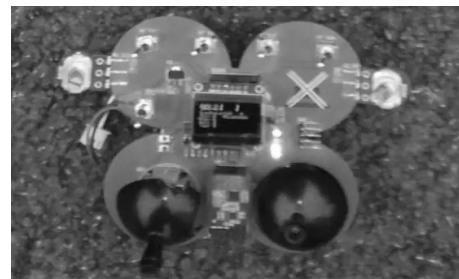


图 6 自制遥控器

### 3 机器人结构设计

#### 3.1 双螺旋式滚筒推进器设计

结构设计主要参照日常生活中收集垃圾的方式方法制作<sup>[5]</sup>。如图 7 所示，采用铝质平板支架，下

附双螺旋式滚筒推进器，外加簸箕形垃圾收集网。

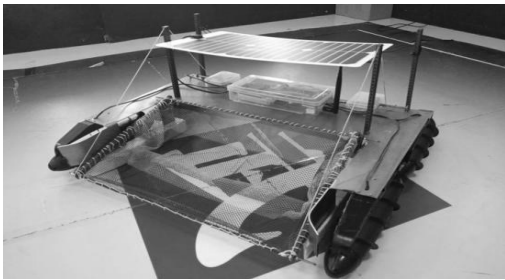


图 7 基本结构

双螺旋式滚筒推进器提供推力的装置是将机器人动力装置提供的动力转换成推力，推动机器人前进。该类推进器功能性强、结构简单、操作方便安全、应用范围广。电动双螺旋滚筒式推进器是一种新颖的水中动力器具，具有体积小、结构紧凑、效能转化率高、工作时无噪音、绿色环保、安装快捷和维护简易等优点。

### 3.2 浮力增强装置设计

为提高机械整体水中浮力，采用定型高强泡沫板。定型泡沫外形设计向流线体靠拢，以减少压差阻力。如图 8 所示，外形设计分离点在 S 点，越靠后，阻力越小。

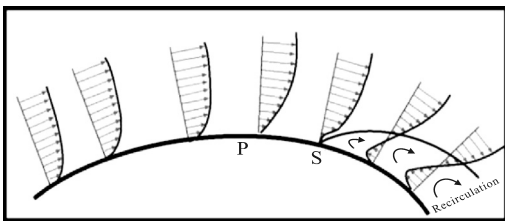


图 8 流线体压差阻力

### 3.3 电动机及推进器

该机器人主要用于水面垃圾的清理，治理水质污染问题；因此，机器人在水面前行时，可能会遇到水草等缠绕性垃圾的干扰，导致水螺旋桨被缠绕、制动，不能继续完成垃圾清理工作。针对此问题，采用如图 9 所示的双螺旋滚筒作为机器人的推进装置。电动机置于滚筒内部，由齿轮、轴杆带动滚筒转动；采用双电机驱动，利用中央差速器控制 2 个电机转动，进而调整机器人的前进方向。



图 9 双螺旋式滚筒结构

物体在水中运动所受阻力：

$$F = C \times \rho \times v^2 \times s / 2$$

式中： $C$  为阻力系数，一般取  $C=1.1$ ； $\rho$  为流体的密度， $t/m^3$ ； $v$  为运行速度， $m/s$ ； $s$  为垂直方向浸湿面积， $m^2$ 。

机器人在水中所承受的荷载不同，其浸湿面积和阻力系数都会不同，加上风力等外部因素的影响，其所受阻力不能按照固定公式计算；垃圾在水中的状态及分布会给机器人清理垃圾带来诸多不确定因素<sup>[6-9]</sup>。利用实际试验来确定电动机的工作状态，以最大可能阻力和最大荷载情况为设计标准，选用如图 10 所示的电动机。

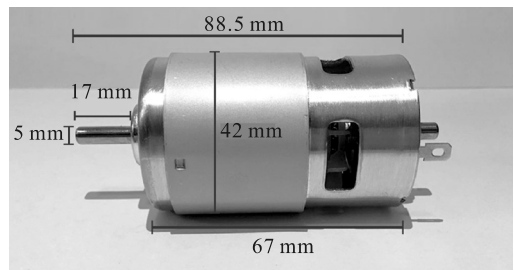


图 10 电动机

该电动机的相关参数：额定电压 12 V；空载电流 1.05 A；空载转速 12 V 10 000 转；电机直径 42 mm；电机重量 350 g。

## 4 动力装置设计

### 4.1 能量供应

综合比较各类电池的性能，采用航模锂电池与太阳能电池板相结合的方式给装置供电，绿色、简洁。

如图 11 所示，14.8 V 2.6 AH 航模锂电池轻便简洁，能够较好地满足设计需要。外加太阳能电池板，可给航模锂电池充电。



图 11 航模锂电池

该电池的相关参数如下：电压 14.8 V，容量 5 200 mAh，重量约 740 g。

采用 12 V 20 W 柔性单晶硅太阳能电池板，相对于普通玻璃太阳能电池板，柔性太阳能电池板厚度仅为 1 mm 且柔韧度高、体积小、质量轻、导电性能强，具有优良的发电效率，适应轻小型机器装

置；且防水性能良好，防水接线盒内部灌密封胶。太阳能板尺寸 480 mm×280 mm。

#### 4.2 太阳能控制器

太阳能控制器如图 12 所示，其优点如下：1) 液晶 LCD 显示屏；2) 双 USB (5 V 2 A) 充电接口；3) 带光控延时功能；4) 可显示电池电压和电量；5) 内置多种保护功能，均为自动恢复型，不损伤控制器；6) 放电截止 (恢复) 电压可调/浮充电压可调；7) 12 V/24 V 自动适应；8) 优化 PWA2.0，有效提高转化效率。



图 12 太阳能控制器

### 5 实验结论与主要技术指标

通过在造浪池以及自然水域实验，可得出如下结论：

#### 1) 经济性。

该机器人的制作成本，相比于市场上的同类产品价格低廉，具有较强经济效益；在垃圾转运方面，由于该机器人的特殊推进装置，实现了水陆两栖运动。在后期发展时，应考虑通过遥控操纵将垃圾运送上岸，降低将垃圾由水面到陆地搬运的成本。

#### 2) 操作性。

在远程遥控方面，开阔湖面上可遥控大约 2 km 的距离；因此在运行于大型水域时，可外加摄像头及传输装置，进行远距离、大面积作业。不同航速下的阻力曲线如图 13 所示。

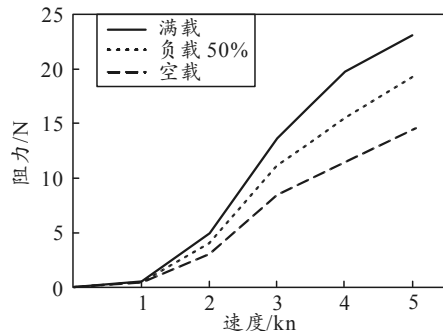


图 13 不同航速下的阻力曲线

#### 3) 主要技术指标。

适应海况：2 级；

最大前进速度：2 节；

最大遥控工作距离：2.2 km；

支持电源：5 200 mAh 航模锂电池；

有效工作幅宽：650 mm；

垃圾清理装置最大收集垃圾重量：1.5 kg；

垃圾清理装置最大收集垃圾体积：0.6 m<sup>3</sup>；

续航能力：9 km。

机器人各部分比重如表 1 所示。

表 1 机器人各部分载荷质量 kg

浮体材料	壳体	控制设备	动力设备	有效载荷	总载荷
1.49	1.68	3.2	4.9	8	19.27

### 6 结论

相比国内已有的机器人，该机器人具有以下优点：

1) 成本低廉。此次机器人制作成本约为 2 700 元，相比于市场上的同类产品价格低廉，具有较强经济效益。

2) 操作简便。使用无线电遥控设备控制清理全过程，只需一位工作人员，覆盖范围大，控制精确，操作简单，无需特殊培训，拥有较大市场开发潜力。

3) 绿色环保。采用了太阳能电池板与蓄电池相结合的能源供应，绿色环保无污染。

着眼于水面垃圾清理机器人的作业机理，利用双螺旋式滚筒结构可实现水陆两栖作业，太阳能电池板辅助蓄电池的能源搭配，PWM 波电动机驱动，符合小型机器人的动力和环保节能要求。而传统的人力小型打捞船，存在工作环境恶劣、工作效率低及安全性差等诸多问题，随着科技的发展、劳动力价格上升，必将被淘汰。无线电遥控设备控制清理拥有较大市场开发潜力。

下一步，笔者将向可视化、程控化、自动化、智能化环节进行改进，以取得更好效果。

### 参考文献：

- [1] LIU Y F, NOGUCHI N. Development and missions of unmanned surface vehicles for autonomous navigation in a paddy field[J]. Engineering in Agriculture Environment & Food, 2015, 19(1): 21-26.
- [2] 高队队, 邵明. 河道整治与河道管理中监控技术的应用[J]. 浙江水利科技, 2002(3): 41-42.
- [3] 金希. 走向世界的中国无人船[J]. 海洋世界, 2015(8): 76-77.
- [4] 张玉婷, 陈褒丹, 任佳, 等. 基于 STM32 的无人艇自主导航控制系统的设计[J]. 海南大学学报(自然科学版),

2016, 34(3): 221-227.

[5] 伍振宇, 周俊波, 侯得志, 等. 太阳能遥控水面漂浮物清理船[D]. 衡阳: 南华大学机械工程学院, 2011: 9-17.

[6] 蒋新松, 封锡盛, 王棣棠. 水下机器人[M]. 沈阳: 沈阳科学技术出版社, 2000: 263.

[7] 张国洲, 朱晨炜, 卢加津, 等. 一种水面垃圾清理机器

人[J]. 兵工自动化, 2020, 39(3): 90-92.

[8] 李敬业, 高学山, 高锐, 等. 人机共存环境下巡检机器人自主移动与避障方法[J]. 兵工自动化, 2020, 39(7): 83-88.

[9] 孙玉娟, 陆倩倩, 夏庆锋, 等. 一种水中机器人协作顶球策略[J]. 兵工自动化, 2020, 39(7): 93-95.

\*\*\*\*\*  
(上接第 86 页)

4) 实验结果表明: 机器人战术靶可很好地对任意复杂示教路径进行跟踪, 其中路径跟踪偏差小于 0.3 m, 各路径点的到点跟踪速度偏差小于 5%.

参考文献:

[1] 李婷婷, 李强, 刘书芸, 等. 反恐机器人研究综述[J]. 中国安全防范技术与应用, 2018(3): 30-33.

[2] 王越超. 我国危险作业机器人研究开发取得新进展[J]. 机器人技术与应用, 2005(6): 11-14, 18.

[3] 于正亮, 肖曦. 外军无人训练靶标发展研究[J]. 国防

科技, 2014, 35(4): 99-103.

[4] 丁力军, 丁海生, 马金歌. 美军空中靶标现状发展趋势及启示[J]. 国防科技, 2009, 30(5): 87-92.

[5] 龚建伟, 高峻尧, 熊光明. 基于航向示教再现的履带式移动机器人路径跟踪[J]. 兵工学报, 2003, 24(1): 102-105.

[6] 申淑丽, 黄昕, 祝润泽, 等. 基于 Linux 系统的通用工业机器人示教器开发[J]. 机床与液压, 2021, 49(3): 63-68.

[7] 谢辉, 任国全, 李建中, 等. 军用地面机器人总体试验方法设计[J]. 兵工自动化, 2020, 39(6): 85-91.

\*\*\*\*\*  
(上接第 91 页)

参考文献:

[1] 张邵敏. 康复用下肢外骨骼系统仿生步态规划方法研究[D]. 深圳: 中国科学院深圳先进技术研究院, 2016.

[2] CAO J H, XIE S Q, DAS R, et al. Control strategies for effective robot assisted gait rehabilitation: The state of art and future prospects[J]. Medical Engineering & Physics, 2014, 36(12): 1555-1566.

[3] GIOVACCHINI F, VANNETTI F, FANTOZZI M, et al. A light-weight active orthosis for hip movement assistance[J]. Robotics & Autonomous Systems, 2015, 73: 123-134.

[4] KINNAIRD C R, FERRIS D P. Medial Gastrocnemius Myoelectric Control of a Robotic Ankle Exoskeleton[J]. IEEE Transactions on Neural Systems & Rehabilitation Engineering A Publication of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society, 2009, 17(1): 31-37.

[5] 刘焯. 多模态脑电模式识别方法及其应用[D]. 上海: 上海交通大学, 2016.

[6] 王士允. 基于表面肌电信号的膝关节康复机器人控制技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2013.

[7] OSKOEI M A, HU H S. Myoelectric control systems-A

survey[J]. Biomedical Signal Processing and Control, 2007, 2(4): 275-294.

[8] 张琴, 骆无意, 黄波. 基于肌电信号的下肢关节连续运动预测[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2017(10): 121-126.

[9] 章亚男, 景银平, 沈林勇. 下肢表面肌电信号的降维和映射分析[J]. 传感技术学报, 2018, 31(7): 70-77.

[10] 刘万阳, 李晓欧. 基于虚拟现实的肌电-计算机接口技术[J]. 生物医学工程研究, 2018, 37(2): 238-242.

[11] WANG R L. Adaptive consensus control for a class of nonlinear multiagent time-delay systems using neural networks[J]. IEEE Transactions on Neural Networks & Learning Systems, 2014, 25(6): 1217-1226.

[12] PAZZINATTO M F, SILVA D D O, BRIANI R V. Reprodutibilidade de parâmetros eletromiográficos durante a subida e descida de escada na síndrome da dor femoropatelar[J]. Motriz Rev.educ.fis, 2015, 21.

[13] 马勋举. 基于表面肌电信号的下肢康复外骨骼机器人步态切换控制方法研究[D]. 郑州: 华北水利水电大学, 2019.

[14] 王成龙. 基于多通道连续肌电控制的手指康复训练系统的研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2019.