

doi: 10.7690/bgzd.2018.03.007

## 基于稳心自动调节功能的水面巡逻无人艇

赵 帅<sup>1</sup>, 刘伯运<sup>2</sup>, 李志辉<sup>2</sup>, 何 鑫<sup>2</sup>, 王皓天<sup>1</sup>

(1. 海军工程大学电气工程学院, 武汉 430033;

2. 海军工程大学动力工程学院, 武汉 430033)

**摘要:** 针对港口内水域环境治理的动态监管和人员救助问题, 设计一款采用双体船设计的装备有稳心自动调节装置和救生设备抛投装置的水面巡逻无人艇。阐述了该无人艇所能实现的功能、机械结构、工作原理。结果表明: 该无人艇可执行规划水域巡逻、水面垃圾清理、紧急救生等任务, 具有环境适应能力强, 航行机动灵活等特点, 可广泛应用于水域环境治理和落水人员救生等领域。

**关键词:** 水面无人艇; 稳心调节; 水面清洁; 紧急救援; 智能导航

**中图分类号:** TJ01 **文献标志码:** B

## USV Based on Automatic Stabilizing Function

Zhao Shuai<sup>1</sup>, Liu Boyun<sup>2</sup>, Li Zhihui<sup>2</sup>, He Xin<sup>2</sup>, Wang Haotian<sup>1</sup>

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

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

**Abstract:** Aiming at the problem of dynamic supervision and personnel rescue in the port water, based on catamaran, a USV with automatic stabilizing device and lifesaving equipment throwing device is designed. This paper expounds the function, mechanical structure and working principle of the USV. The results show that the USV can carry out planning waters patrol, clean water surface garbage, emergency and other tasks. With strong environmental adaptability and the navigation flexibility, it can be widely used in water environment management and personnel drowning rescue.

**Keywords:** USV; stabilizing; water surface cleaning; emergency rescue; intelligent navigation

## 0 引言

我国水域面积辽阔, 港口众多, 但是船舶离港时往往会残留许多漂浮垃圾在海港内, 严重影响港口内水域环境, 而且港口内时常会出现人员意外落水急需救助的情况。目前各国对水域环境监管方法的研究极为重视, 出现了一系列无人艇<sup>[1]</sup>, 代替定点摄像头进行水域监管, 如美国的CAT-Surveyo 无人水面艇<sup>[2]</sup>。我国水下无人艇研究领域的专家燕奎臣等<sup>[3]</sup>也曾设计了一款可用于水面救助的机器人。

针对港口内水域环境治理的动态监管和人员救助问题, 笔者研制了一种水面巡逻无人艇<sup>[4-6]</sup>。

## 1 研究与设计

### 1.1 控制系统设计

本控制系统有 2 种控制模式: 自动导航模式和遥控模式, 如图 1 所示。

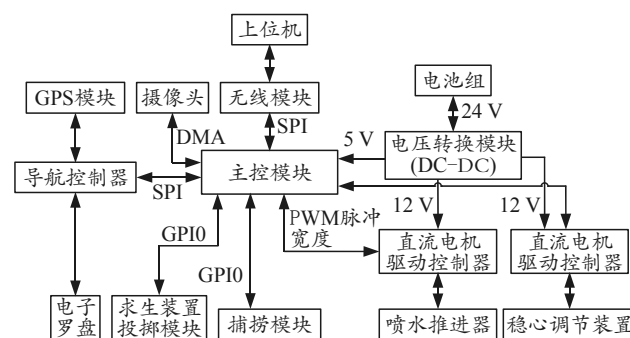


图 1 控制原理

1) 无人艇在巡逻状态下可开启自动导航模式, 按照操作者规划好的路线在水面航行。上位机上装有监控屏, 时刻显示摄像头传感器所收集到的图像信息。操纵人员通过观察屏幕上显示的信息判断是否解除自动导航模式, 开启遥控模式。

2) 当操作人员开启遥控模式时, 通过操纵上位机上的控制设备对无人艇进行控制, 驱动无人艇特种功能模块完成特种任务, 如进行水面物体捕捞、对落水人员抛投救生装置等<sup>[7-8]</sup>。

收稿日期: 2017-11-18; 修回日期: 2017-12-07

作者简介: 赵 帅(1994—), 男, 河北人, 从事电气自动化研究。

### 1.2 无人艇结构设计

该无人艇选用 STM32 单片机作为主控制单元，选用内含 GPS 定位模块和电子罗盘的 NEO-M8N Pixhawk APM 作为导航控制器，选用 FPV700 现单板高清摄像头作为摄像头传感器。

如图 2，无人艇采用双体船结构设计。优化主体与附体的形态参数，具有优越的稳定性，可以适应复杂的水域环境。

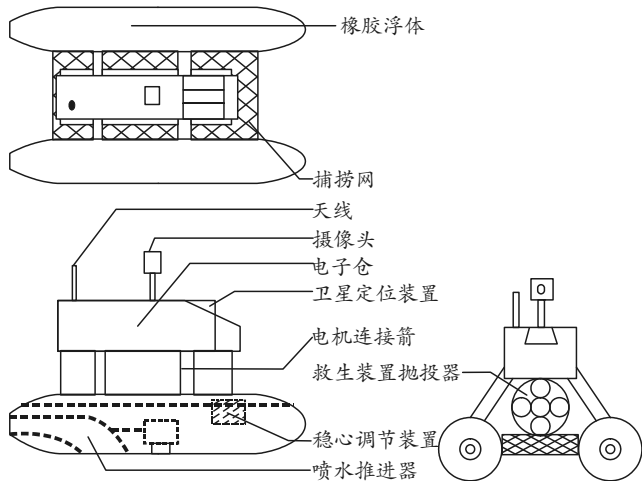


图 2 基本结构

无人艇顶部置有摄像头和天线、控制电路、导航设备及电源置于电子舱内；救生装置抛投器置于电子舱正下方；电子舱与推进装置之间使用电机连接箭相连接；推进装置由喷水推进器、稳心调节装置和橡胶浮体组成；捕捞装置置于无人艇两推进装置之间<sup>[9]</sup>。

### 1.3 推进器载体设计

水面巡逻无人艇主体部分和双体船类似，可以参考双体船外形的选择。

试验和数值计算所用模型的主要船型参数如表 1 所示，3 维图如图 3 所示。

表 1 试验模型的主要船型参数

主要参数	参数值
$L/m$	1
$\Delta/kg$	19.27
$k_{xx}/m$	0.19

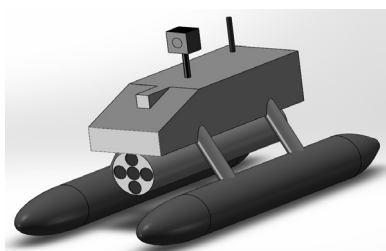


图 3 实验模型 3 维图

### 1.4 无人艇各部分相对比重的分析与确定

确定水面救助无人艇的质量和排水体积是设计的主要任务之一。设计水面救助无人艇时，总是力求在实现主要性能的前提下使质量最小<sup>[10]</sup>。假定水面救助无人艇各主要组成部分的质量和浮体体积分别是：

有效载荷： $W_u V_u$ ；

壳体： $W_c V_c$ ；

导航设备： $W_{lc} V_{lc}$ ；

动力设备： $W_e V_e$ ；

浮力材料： $W_b V_b$ ；

则总质量：

$$W = W_u + W_c + W_{lc} + W_e + W_b; \quad (1)$$

总浮体体积：

$$V = V_u + V_c + V_{lc} + V_e + V_b. \quad (2)$$

因为有效载荷全部装在壳体内，则  $V_u = 0$ 。

如果用  $\gamma_i$  分别表示各主要组成部分的相对比重，则

$$\gamma_i = \frac{W_i}{V_i}. \quad (3)$$

为了保证水面救助无人艇在水中的平衡，应满足  $W = \gamma V$ ，式中  $\gamma$  为海水比重，而

$$V = \frac{W}{\gamma} = \frac{W_u}{\gamma} + \frac{W_c}{\gamma} + \frac{W_{lc}}{\gamma} + \frac{W_e}{\gamma} + \frac{W_b}{\gamma}. \quad (4)$$

由式(1)和式(4)可得到：

$$W \left( 1 - \frac{\gamma_b}{\gamma} \right) = W_u \left( 1 - \frac{\gamma_b}{\gamma_u} \right) + W_c \left( 1 - \frac{\gamma_b}{\gamma_c} \right) + W_{lc} \left( 1 - \frac{\gamma_b}{\gamma_{lc}} \right) + W_e \left( 1 - \frac{\gamma_b}{\gamma_e} \right). \quad (5)$$

由式(5)可以看出：对于用浮力材料的水面救助无人艇，当某一组相对比重  $\gamma_i$  比浮力材料的相对比重  $\gamma_b$  小时， $1 - \frac{\gamma_b}{\gamma_i}$  会变为负值，此时增加  $W_i$  的质

量不仅不会增大水面救助无人艇的排水量，反而会使排水量减小。设计参数如表 2 所示。

表 2 无人艇各部分质量 kg

载荷序号	载荷名称	质量	载荷序号	载荷名称	质量
1	浮体材料	1.49	5	调节滑块	4
2	壳体	1.68	6	有效载荷	8
3	导航设备	3.2	$\Sigma$		19.27
4	动力设备	0.9			

### 1.5 水面救助无人艇重心和浮心计算

为了保证水面救助无人艇稳定运行，应保有一定的稳心高度。为此，应根据总体布置分别求出水面救助无人艇的重心和浮心坐标位置，即分别列出

各部分的重心和浮心在总布置图上。无人艇质量、重心如表 3 所示。

表 3 无人艇质量、重心

载荷序号	载荷名称	x/m	Mx/(kg/m)	y/m	My/(kg/m)	z/m	Mz/(kg/m)
1	浮力材料	0.49	0.730 1	0	0	0.11	0.163 9
2	壳体	0.48	0.806 4	0	0	0.34	0.571 2
3	动力设备	0.40	1.280 0	0	0	0.11	0.352 0
4	导航设备	0.50	0.450 0	0	0	0.63	0.567 0
5	滑块	0.54	2.160 0	0	0	0.14	0.560 0
6	有效载荷	0.50	4.000 0	0	0	0.09	0.720 0

$$X_g = \frac{\sum M_x}{\sum W}; \quad (6)$$

$$Y_g = \frac{\sum M_y}{\sum W}; \quad (7)$$

$$Z_g = \frac{\sum M_z}{\sum W}; \quad (8)$$

$$X_c = \frac{\sum M'_x}{\sum V}; \quad (9)$$

$$Y_c = \frac{\sum M'_y}{\sum V}; \quad (10)$$

$$Z_c = \frac{\sum M'_z}{\sum V}. \quad (11)$$

由式(6)–(8)得到无人艇重心位置  $X_g=0.489$ ,  $Y_g=0$ ,  $Z_g=0.037$ 。

由式(9)–(11)得到无人艇浮心位置  $X_c=0.502$ ,  $Y_c=0$ ,  $Z_c=0.085$ 。

稳心高  $h = Z_c - Z_g = 0.013$ 。

为了保持水下救助机器人的平衡, 应有:

$$X_c = X_g; \quad (12)$$

$$Y_c = Y_g. \quad (13)$$

如果  $X_c \neq X_g, Y_c \neq Y_g$ , 则应调整无人艇的总体布置, 虽然不能绝对相等, 也应使

$$\text{tg} \phi_0 = \frac{X_c - X_g}{Z_c - Z_g}. \quad (14)$$

式中  $\phi_0 = 0^\circ \sim 1.5^\circ$ 。

### 1.6 水面巡逻无人艇运动计算

波浪中船模所受力和力矩为:

$$F = \int_S ([\tau] - p[I]) \cdot n dS - mg; \quad (15)$$

$$m_c = \int_S (r - r_c)([\tau] - p[I]) \cdot n dS. \quad (16)$$

式中:  $F$  和  $m_c$  分别为作用在船模上的力和力矩矢量;  $[\tau]$  为剪切应力;  $p$  为压力;  $n$  为船模表面外法线方向;  $m$  为船模的质量(排水量);  $r_c$  为船模重心处的位置矢量, 下标 C 为船模的转动中心(重心),  $r$  为船模表面任意一点的位置矢量。

根据牛顿第二定律, 船模运动的六自由度控制方程表达式如下:

$$\frac{d}{dt}(mv_c) = F; \quad (17)$$

$$\frac{d}{dt}([M_C] \cdot \omega_c) = m_c. \quad (18)$$

式中:  $v_c$  为船模平动速度矢量;  $[M_C]$  为惯性矩张量;  $\omega_c$  为船模转动的角速度矢量。

在数值模拟中, 作用在船模上的力和力矩可由式(14)、(15)得到, 其运动的速度、角速度及位置、姿态等可以通过式(16)、(17)求解、积分得到<sup>[11]</sup>, 如图 4 所示。

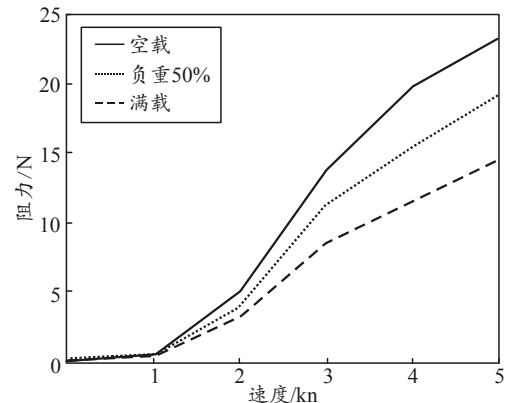


图 4 不同航速下的阻力曲线

### 1.7 无人艇推进装置设计

如图 5 所示, 该无人艇使用喷水推进装置作为动力源, 喷水推进器与稳心调节装置放置于推进装置刚性壳体内部。推进器刚性壳体外由一层软质材料包裹。该推进器具有以下优点:

1) 无人艇吃水深度较浅, 喷水推进器进水口置有过滤网不怕水藻绞缠, 提高了无人艇的环境适应能力。

2) 推进器外包裹一层软质橡胶材料, 可降低无人艇与物体发生碰撞、摩擦时对无人艇造成的硬性伤害。

3) 推进器内部置有稳心调节装置, 可大幅度提高无人艇的抗风浪能力。

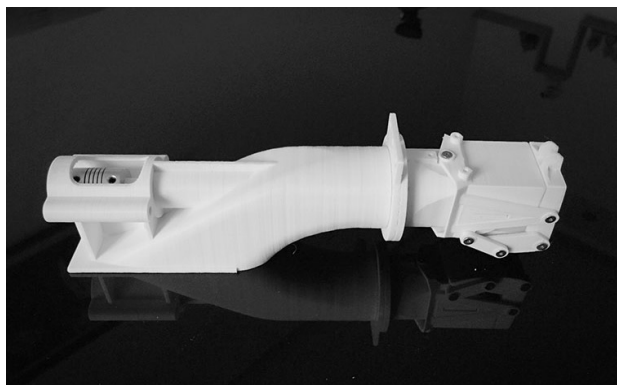


图5 喷水推进器

### 1.8 稳心调节装置设计

在无人艇橡胶浮体内设置一根支撑柱，在支撑柱上有由电机推动的平衡重物。当无人艇的平衡受到影响时，电子罗盘内的陀螺罗经会向单片机输送无人艇的姿态信息，单片机对稳心调节装置进行控制，改变橡胶浮体内平衡重物的位置，使无人艇行驶时保持良好的稳定性。

### 1.9 救生设备投掷器设计

机器人水上部分前端开口安装气动式抛掷装置，巡逻状态时开口关闭。当需要抛投救生设备时，主控制系统驱动舵机转动握柄使击针刺穿气瓶，气体将抛投器的气室迅速充满，可直接将如图6所示的自动充气救生圈抛射到被救目标旁边。

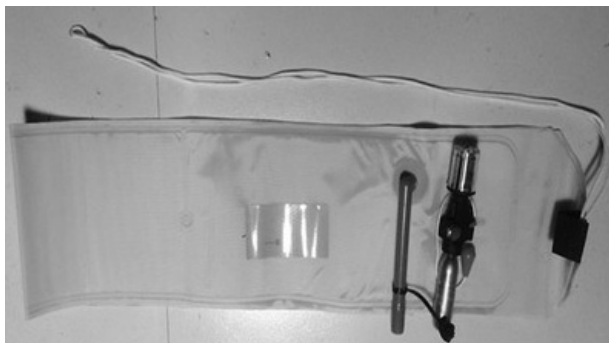


图6 遇水自动充气式救生装置

## 2 功能实现

### 2.1 图像传输

在无人艇的最前端置有视觉传感器。视觉传感器采集无人艇周围图像后将信号传递给单片机，单片机对信号处理后向上位机进行实时传输，使操纵者能够时刻掌控巡逻水域周围的状况。

### 2.2 路径规划与智能导航

在无人艇所需巡逻的水域内测量若干个点的地理坐标，并将坐标依次录入上位机当中进行储

存，并规划无人艇的计划航行线。无人艇按照规划路径进行智能航行。

### 2.3 稳心调节

当无人艇的俯仰状态发生变化时，无人艇推进装置内的稳心调节装置会迅速调整滑块位置，使无人艇具备良好的航行稳定性。

### 2.4 落水人员救生

当落水者需要救助时，将抛投发射器对着前方目标，可直接将救生圈抛射到被救目标旁边。气胀式救生圈一旦接触到水，自动充气装置会在5 s内充气，被救目标将会借助自动充气成型的救生圈保持体位浮在水面上，起到救生的作用。

### 2.5 物体捕捞

操作人员可操作无人艇行驶轨迹，使漂浮物置于捕捞网内，操纵机械臂抬起捕捞网，完成对水面漂浮物的清理。

## 3 结论

该无人艇主要的优点有：

1) 无人艇采用双体船结构并配合稳心调节装置，不仅稳定性好，而且快速机动性强。船体采用橡胶软制材料，有效解决了无人艇遇到硬物时对船体造成硬性伤害的问题。

2) 无人艇使用喷水推进装置作为推进器，降低了无人艇的使用环境要求。

3) 无人艇具有自动充气救生圈抛投功能。当发现有人溺水，无人艇可迅速递送多个遇水自动充气式救生圈到落水者附近，对溺水人员进行紧急救助。

该无人艇具有体积小、质量轻、可单人携带并且控制机动灵活的特点，可应用于港口环境治理和落水人员紧急救助领域，不仅可以降低工作人员的劳动强度，还可提高港内工作的安全性。

### 参考文献：

- [1] LIU Y, NOGUCHI. Development and missions of unmanned surface vehicles for autonomous navigation in a paddy field[J]. *Engineering in Agriculture Environment & Food*, 2015, 9(1): 21-26.
- [2] SCOTT G P, HENSHAW C G, WALKER I D, et al. Autonomous Robotic Refueling of an Unmanned Surface Vehicle in Varying SeaStates[C]. Hamburg: IEEE Press, 2015.
- [3] 燕奎臣, 袁学庆, 秦宝成. 一种水面救助机器人[J]. *机器人*, 2001, 23(6): 493-497.