

水污染源自动导巡机设计

石元伍¹, 江书圻¹, 廖伯凯²

(1.湖北工业大学, 武汉 430068; 2.华中科技大学, 武汉 430074)

摘要: **目的** 针对现实工业生产情况中存在的排污管道藏匿问题, 更便捷和高效地在已知或是未知污染的水体中寻找隐藏匿的排污口。**方法** 通过对水体污染物测量方法的研究, 选用可以同时拥有实时反馈和方便对比的离子测定法, 设计对无机污染物离子的小型自动水质检测装置。该装置在电流传感器及自动化控制程序的基础上拥有水样采集、检测、自动化寻踪及实时定位等功能。通过模拟工业生产中较为常见污水匿排的场景进行实验, 采用原子吸收光谱法验证水污染源自动导巡机检测功能的可靠性。**结论** 试验中水污染源自动导巡机的运动行径符合预期, 证明该水污染源自动导巡机的原理可行并且设计合理。该无机水污染源自动导巡机的设计为同类产品的设计开发提供了指导性的思路。

关键词: 产品设计; 自动导巡机; 离子测定法; 原子吸收光谱法

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)20-0176-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.20.028

Design of Automatic Guided Patrol Machine for Water Pollution Source

SHI Yuan-wu¹, JIANG Shu-yi¹, LIAO Bo-kai²

(1.Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China;

2.Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

ABSTRACT: The work aims to find out the hidden sewage outlets in known or unknown polluted water more conveniently and efficiently regarding the concealment of sewage pipes in practical industrial production. Through the investigation of test methods for water pollutants, a small automatic water quality detection device for inorganic contaminant ions was designed by the ion determination method, which could realize both the real-time feedback and convenient comparison. Based on the current sensor and automatic control program, the device had the functions of water sample collection, detection, automatic tracking and real-time positioning. By scenario simulation of the common hidden sewage disposal in industrial production, the reliability of the detection functions of the automatic guided patrol machine for water pollution source was verified by atomic absorption spectrometry method. The motion behavior of the automatic guided patrol machine for water pollution source in the experiment is in accordance with the expectation, which proves that the principle of the machine is feasible and its design is reasonable. The design of the proposed machine provides a guiding idea for the design development of similar products.

KEY WORDS: product design; automatic guided patrol machine; ion measurement method; atomic absorption spectrometry

水是人类赖以生存的物质, 由于工业及生活污水乱排导致地表及地下水域受到严重污染, 对人们身体健康造成极大威胁。据调查: 我国地表水污染严重, 全国七大江河中至少有 3 条河流的 70% 的河段受到

污染, 数不胜数的小河流由于城镇工业的超量排放变成了污水河^[1]。虽然我国在 1984 年颁布了《水污染防治法》, 2015 年颁布了《环境保护法》, 但是偷排污水的现象仍旧屡禁不止。

收稿日期: 2018-06-26

作者简介: 石元伍 (1971—), 男, 湖北人, 湖北工业大学教授, 主要研究方向为老年人产品设计。

通信作者: 江书圻 (1992—), 男, 湖北人, 湖北工业大学硕士生, 主攻产品设计和人机工程。

目前已知最常用的 3 种偷排污水的手段是：(1) 将排污管道放置在监管部门监测到的位置进行夜间偷排；(2) 将排污管道布置在人迹罕至的位置或者是将排污口布置在水下等监管部门难以发现的位置；(3) 以器皿承载运至远离工厂的位置或是人迹较少的水域野抛。后两种偷排的形式无疑加大了监管的难度。为了解决第 2 种情况下和第 3 种情况下部分的问题，本文提出针对性的水污染源自动导巡机设计方案，目的是在广袤的受污染水体中寻找难以发现污染源（藏匿的排污管道口和渗漏的装载工业废水的器皿）的具体位置。

1 设计依据与概念提出

水体污染监测仅以中国为例，2001 年中国水域有 2222 个监测站，水环境监测覆盖面达到流域面积的 80%，水体纳污量的 80%，流域工农业总产值的 80%，但是水体体污染程度依旧高居难下^[2]。传统的定点水体监测体系存在其局限性，且对于水体污染源的发觉更是存在效率低下的问题。

水中污染物的分析检测手段，由传统的化学分析方法逐步发展到以仪器分析方法为主。化学分析方法，主要包括重量法、容量法、比色法及常规细菌学监测法^[3]，由于该方法测得的结果可靠性较差，而被后续的紫外—可见分光光度法、气相色谱仪（GC）和原子吸收光谱仪（AAS）等仪器分析法所取代^[4]。曾甜玲等^[5]指出基于紫外光谱分析的水质监测技术对饮用水、地下水、工业废水等水体进行监测时，具

有体积小、无二次污染、成本低等优点。现有污水检测仪器由于其对于水堰槽要求条件的限制^[6]，使用便捷性不佳。本文所设计的自动导巡机基于仪器分析方法，采用实时反馈的监测模式，克服了常见仪器分析测试的局限性，具备自动寻找可见和藏匿污染源的功能，满足效率高、定位准、使用方便等。水污染源导巡机概念的提出和设计国内外均无前例。

通常无机污染物，主要为金属离子污染物，在水体中呈游离形式存在，当离子浓度越高，污染溶液的导电性越强。自动导巡装置可以设计 8 个同一平面的监测端口，通过对比测量在相同偏压条件下不同端口处污染溶液及时反馈的电流值，以确定不同端口处无机污染物的浓度，同时设定高浓度污染物端口即为指向污染源的方向。考虑非恶劣自然干预的条件下导巡机通过不断采样监测而朝向离子浓度高方位移动，逐渐逼近污染源，由此确定污染源对应位置。

2 导巡机设计

2.1 系统硬件实现方案

系统包括电流测量探头和电流传感器，蓄电池及太阳能电池板，核心功能模块单片机控制器，动力驱动模块螺旋桨和 GPRS 无线等。利用 8 个电流测量电路测得水体高精度电流信息，送入 STM32F103C8T6 单片机比对出电流信息，同时单片机驱动动力设备的移动方向指向电流最高的测量探头方向，达到比对测量的最大值时通过 GPRS 无线传输地理位置，从而完成了导巡机的系统设计，见图 1。

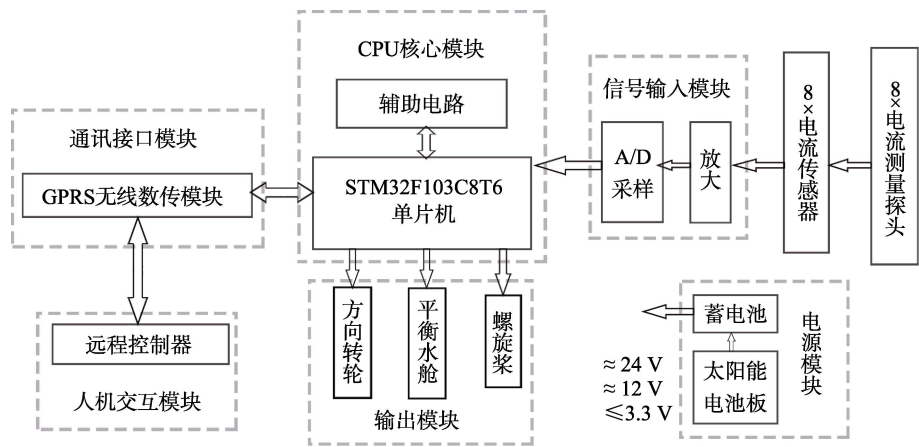


图 1 导巡机硬件结构图
Fig.1 Structure drawing of guided patrol machine hardware

2.2 系统软件设计方案

导巡机采用 STM32F103C8T6 单片机搭建 Linux 系统，完成了系统的初始化、GPRS 协议栈初始化以及算法处理、信号数据分析、无线传输以及螺旋桨驱动等。在 Linux 系统内部完成任务的调度和转换并通过优化，见图 2 所示。

当检测探头测量的电流值出现 4 个或者 4 个以上

电流差距不大于 I_{min} 时设定为无法判定电流的最大方向，该状态是为导巡机已经在污染源附近。该电流定值 I_{min} 的计算公式如下：

$$I = \frac{U}{R} \tag{1}$$

$$R = \rho \frac{l}{s} \tag{2}$$

$$\rho=\frac{1}{\sigma}$$

(3)

式中： I 表示所能监测最小电流值 $I_{\min}$ ； U 表示巡查机内部所施加电压值； R 表示两测试工作电极间水体电阻； ρ 表示水体电阻率； σ 表示水体电导率；表示测试工作电极间距； s 表示测试电极工作面积。

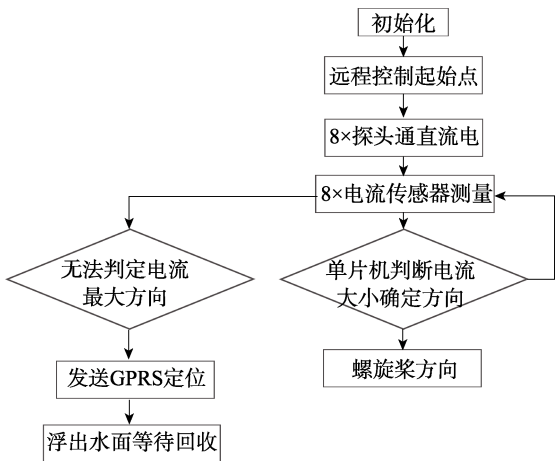


图 2 导巡机程序系统流程图
Fig.2 Flow chart of program system of guided patrol machine

以东湖水部分区域水体实测的电导率最小值为例，其值为 $150\text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$ 。
巡查机内部可恒定施加电压值为 24 V 。
所设计选择性电极尺寸长 13 cm ，宽 3 cm ，工作面积为 $3.9\times 10^{-3}\text{ m}^2$ ，两电极间距 1 cm 。
将对应参数值带入公式计算 $I_{\min}=2.5\text{ mA}$ 。

2.3 检测结构设计方案

水污染源自动导巡机的检测系统是由 8 个处于同一平面的检测管构成，并且以呈同距环绕的形式确保数据的客观性。每根检测管由电流传感器、钛涂钨铍电极、 12 V 稳定直流电源组成的回路。
在水体不同的流速、不同水深以及沉积物紊流扩散都对检测管得监测数据具有一定影响。研究表明，上述影响因子都呈垂向分布^[7]，因而测量探头的位置为同一平面内的水平关系，见图 3；同时，为了方便清洗和更换测量探头为可拆卸设计。

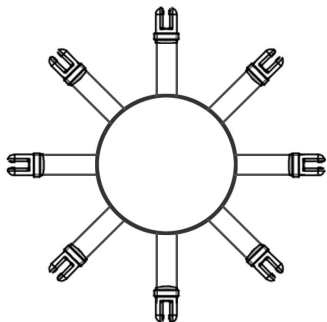


图 3 检测管俯视图
Fig.3 Top view of inspection tube

3 外观设计 with 结构说明

3.1 现有相关设备形态分析

目前水下移动小型检测设备较少且形态单一，多是借鉴军用潜水艇外观作设计，主要形态分为碟型和柱型两种。通过对现有产品的形态分析，外部结构过于复杂，造型缺乏美感；部分内部结构外露，造型不简洁舒畅；功能上无法满足导巡机的功能需求。

3.2 外观设计

产品的形态是功能的外在表现，好的形态能更能突出产品的功能和语义^[8]。在满足设备功能的基础上，选取导巡机造型设计作为切入点，采用流线型和简约现代造型设计法，进行导巡机的造型设计。

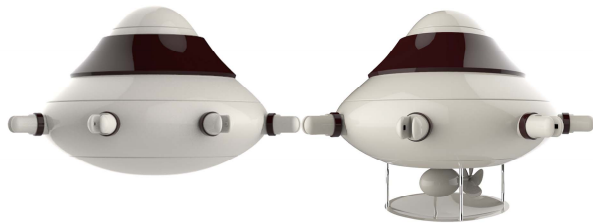


图 4 导巡机外观
Fig.4 Appearance of guided patrol machine

采用多数曲线与少数直线结合的方式，使整体造型体现流畅柔和的同时具有稳重感。配色上采用白为主色，黑为辅色，体现极致的现代简约设计之感，服役过程长期在水的浸泡中，表面涂上聚氨酯材料，用于防腐、防水，见图 4。导巡机设计尺寸见图 5。

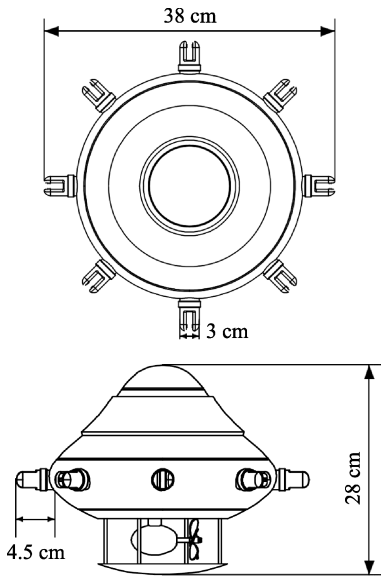


图 5 导巡机尺寸图
Fig.5 Dimension drawing of guided patrol machine

根据导巡机的外形设计布置内部结构，其部分内部细节见图 6。

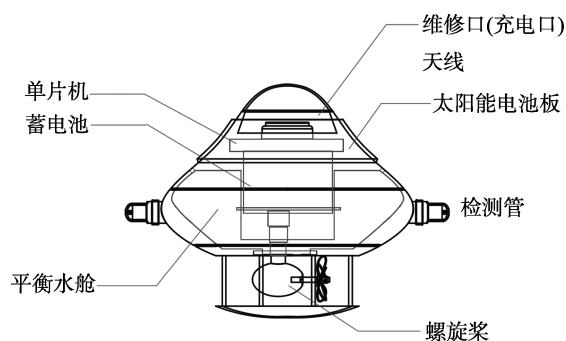


图 6 导巡机细节图

Fig.6 Detail drawing of guided patrol machine

4 实验证明与分析

4.1 实验过程

组装所设计导巡机实体,通过模拟工业中常见的水下污水偷排情景,来验证该设计方案的可行性。实验测试装置示意图见图 7。污染池中所含污染物为重金属铅,浓度为 500 mg/L,通过分析纯硝酸铅与去离子水配制成所需浓度溶液。模拟时,循环泵将污染池内的污染液输送到模拟水域底部,流量为 0.4 L/min。同时,设计回收池回收满溢的污染液。导巡机被放置于模拟水域中心位置。实验过程中,观察到导巡机往污染液泵入管道一侧移动。

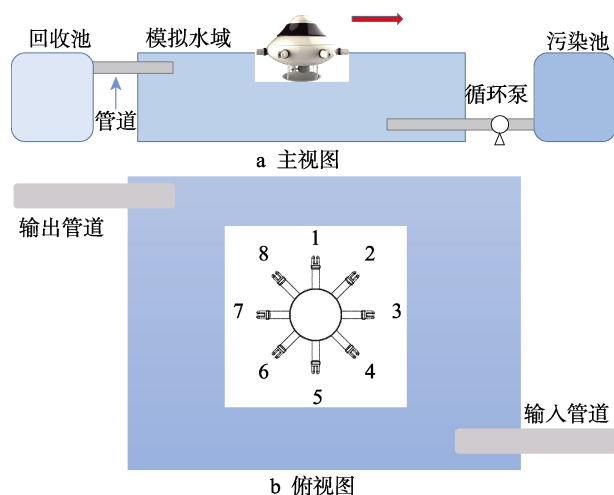


图 7 导巡机工作环境模拟装置示意图

Fig.7 Schematic diagram of the working environment simulator for guided patrol machines

4.2 数据分析及讨论

模拟实验进行到 30 min 及 120 min 时,利用微量取样器分别在导巡机的 8 个监测口进行取样,通过原子吸收光谱法(AAS)对其中所含 Pb^{2+} 浓度进行分析。结果见图 8。

从图 8 中可以看出,4 号监测口处所取溶液中的铅离子浓度最高。这种条件下,导巡机将朝着输入管

道所在方向移动,与试验模拟过程中所观察到的现象一致。

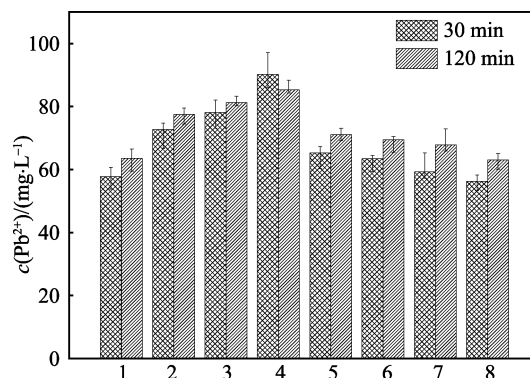


图 8 离子检测图

Fig.8 Ion detection diagram

5 结语

无机水污染源自动寻导机的设计解决了现代工业发展背景下存在的污水偷排现状。水污染源自动导巡机的设计在国外内均数首创,笔者的研究和设计也处在起步和探索的阶段。论文通过实验的方式验证了水污染源自动寻导机原理的可行性,同时设计出了水污染源自动导巡机的外形和内部结构。但是目前导巡机的设计仅仅针对无机污染物和金属污染物进行实验,并没有深入考虑在现实状况下各个水体差异和存在的复杂因素对导巡机结果产生的影响,因此在实践的各个环节中还存在着待改进和商榷的地方。由于无机水污染源自动寻导机概念的提出解决了环境保护问题上的一大难题,为同类产品的后续开发提供了指导性的思路。

参考文献:

- [1] 许嘉宁, 陈燕. 我国水污染现状[J]. 广东化工, 2014, 41(3): 143—144.
XU Jia-ning, CHEN Yan. Current Situation of Water Pollution in China[J]. Guangdong Chemical Industry, 2014, 41(3): 143—144.
- [2] 郑玉建. 我国水体底质重金属污染研究[J]. 国外医学 医学地理分册, 2004, 25(4): 185—188.
ZHENG Yu-jian. Study on the Heavy Metal Pollution of Water in China[J]. Foreign Medical Geography, 2004, 25 (4): 185—188.
- [3] 杨员. 美国水质监测发展历程及其对中国的启示[J]. 环境污染与防治, 2015, 37(10): 86—97.
YANG Yuan. The Development Process of Water Quality Monitoring in American and Its Enlightenment to China[J]. Environmental Pollution & Control, 2015, 37 (10): 86—97.
- [4] 牛红义. 水污染监测技术发展动向初探[J]. 环境科学

- 动态, 2005(2): 60—62.
- NIU Hong-yi. Preliminary Study on Development Trend of Water Pollution Monitoring Technology[J]. Environmental Science Trends, 2005(2): 60—62.
- [5] 曾甜玲. 基于紫外光谱分析的水质监测技术研究进展[J]. 光谱学与光谱分析, 2013, 33(4): 1099—1103.
- ZENG Tian-ling. Research Progress of Water Quality Monitoring Technology Based on Ultraviolet Spectrum Analysis[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2013, 33 (4): 1099—1103.
- [6] 陈楚楚. 一种新的无线水污染超声波明渠水量检测仪的设计方法[J]. 无线互联科技, 2011(12): 37—38.
- CHEN Chu-chu. A New Design of Wireless Water Pollution Ultrasonic Open Channel Water Quantity Detector[J]. Wireless Interconnect Technology, 2011(12): 37—38.
- [7] 陆健刚. 不同流速下湖泊水体重金属含量垂向分布特征[J]. 农业机械学报, 2016, 47(2): 179—184.
- LU Jian-gang. Vertical Distribution Characteristics of Heavy Metals in Lake under Different Flow Rates[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(2): 179—184.
- [8] 苏晨. 小型电弧焊设备造型设计[J]. 机械设计, 2016, 33(5): 125—128.
- SU Chen. Modeling Design of Small Arc Welding Equipment[J]. Mechanical Design, 2016, 33(5): 125—128.
- [9] LI Xue-gang. Inorganic Carbon of Sediments in the Yangtze River Estuary and Jiaozhou Bay[J]. Biogeochemistry, 2006(1): 177—197.