

基于 Arduino 的船舶生活污水控制系统设计

李继光¹ 赵祥和² 韦璐桦² 朱宣俞² 孙慧^{1*}

1.广西海洋工程装备与技术重点实验室 广西 钦州 535011

2.北部湾大学海运学院钦州 广西 535011

DOI:10.12238/etd.v3i8.6174

【摘要】: 随着航运产业发展,船舶生活污水成为一项主要海洋污染物。MARPOL 国际公约附则IV以及国内相关规定对船舶生活污水处理装置均有要求,该装置成为船舶在海上航行中不可或缺设备。以船舶生活污水处理的主流方法为基础,设计一种简单的方便的信息化程度高的系统,用较低成本实现自动化程度高。利用经典控制理论解决污水处理系统中曝气环节的问题。控制芯片采用单片机 Arduino 减少了成本、空间的占用,同时提高了系统的可拓展性和智能化程度。

【关键词】: 船舶; 生活污水, Arduino; Modbus 协议

中图分类号: U667 文献标识码: A

Design of Marine Ship Sewage Control System Based on Arduino

Jiguang Li¹, Xianghe Zhao², Luhua Wei², Xuanyu Zhu², Hui Sun^{1*}

1.Key Laboratory of Beibu Gulf Offshore Engineering Equipment and Technology (Beibu Gulf University), Guangxi Qinzhou 535011

2.College of Civil Engineering and Architecture, Beibu Gulf University, Guangxi Qinzhou 535011

Abstract: With the development of shipping industry, ship domestic sewage has become a major marine pollutant. MARPOL International Convention Annex IV and relevant domestic regulations have requirements for ship domestic sewage treatment equipment, which has become an indispensable equipment for ships sailing on the sea. Based on the mainstream method of ship domestic sewage treatment, a simple and convenient system with high degree of informatization is designed, and the automation degree is high with low cost. The classical control theory is used to solve the problem of aeration in sewage treatment system. The control chip adopts the single-chip Arduino to reduce the cost and space occupation, and improve the scalability and intelligence of the system.

Keywords: Ships; Sewage; Arduino; Modbus protocol

引言

船舶生活污水对海洋环境有较大的影响,目前航运行业快速发展,船舶成为一项重要的海洋移动污染源,其中船舶生活污水向海域排放数量大。根据相关文献的调查信息表明,航线和港口污染是导致海洋受到污染的重要因素,它们已经成为主要的海洋污染物之一,另外船舶运输使得近海岸和东海的水域富营养化情况日益加重。设计出一种处理效果好,自动化、智能化程度高的船舶生活污水处理系统对于保护海洋生态环境具有重大的实际意义。

在为解决船舶生活污水处理在实际操作中缺少监督管理的问题,国内相关厂家研制了船舶生活污水处理设备,大多数船舶的解决方案是人工操作继电器控制相关执行器的启停完成污水的处理。目前采用传统方案比较合理的有,大

连海事大学于春成设计出基于 PLC 的生活污水处理系统,使用逻辑控制程序操作执行器启停,提高了船舶污水处理工作的可靠性和稳定性。哈尔滨工程大学施悦研究团队获得基于 STM32 单片机的船舶生活污水处理系统相关专利。前者系统较为完善,同时成本较高,后者处理过程过于简单。各地海事、港航及相关部门的研究人员贾建雄、陈成达、吕茂翔等人研究了处理船舶生活污水中暴露出的问题和分析相关对策。近年来 MBR 生物膜逐渐应用在船舶生活污水处理方面,朱昆鹏、邵晓华等人在 MBR 生物膜处理方面进行设计研究和优化。本文根据广泛应用的生物学处理方法基于单片机 Arduino 控制能够实现 PLC 控制功能的同时,兼顾单片机低成本优点。

1. 控制系统主体介绍

1.1 Arduino 开发板

Arduino 是一种基于单片机的开源硬件平台和一套针对该平台开发环境组成。该开发板可以读取数字类和模拟类信号, 通过内部程序运行计算并在不同的引脚输出电信号, 再配合相关驱动器或继电器可控制各式各样的执行机构, 在本系统中的典型器件是风机和电磁阀, 能够实现类似于机舱自动化中的 DPU 的功能。

Arduino 开发板种类多样, 综合考虑系统到系统多传感器的需求, 本系统设计宜采用 Arduino Mega2560 开发板, 其优势如下:

(1) 大容量存储器: Arduino Mega2560 板配备了 8 KB 的 SRAM 和 256 KB 的闪存 (Flash), 这比许多其他微控制器板更大。这意味着你可以存储更大的程序和数据, 并且可以处理更复杂的任务。

(2) 多功能 IO 接口: Arduino Mega2560 具有 54 个数字 IO 引脚和 16 个模拟输入引脚, 提供了丰富的接口用于连接各种外部传感器、执行器和其他设备。这些引脚可以用于数字输入/输出、PWM 输出、模拟输入和通信接口 (如串口、I2C 和 SPI) 等。

(3) 强大的处理能力: Arduino Mega2560 板搭载了 ATmega2560 微控制器, 它是一个 8 位的 AVR 微控制器, 主频可达 16MHz。它具有丰富的硬件功能和强大的处理能力, 可处理复杂的计算和控制任务。

(4) 多个定时器: Arduino Mega2560 板内置了 6 个 16 位定时器和 1 个 8 位定时器, 可用于精确计时、PWM 输出、脉冲捕获等应用。这些定时器提供了更多的灵活性和精度, 适用于许多实时控制和定时任务。

(5) 兼容性和开源性: Arduino Mega2560 是 Arduino 开源生态系统的一部分, 它具有广泛的兼容性和丰富的开源软件库。你可以利用 Arduino 的开发环境和大量的开源代码、示例和文档来快速开发应用程序, 例如实现本项目中单片机与传感器通讯的 <ModbusRtu.h> 库。

(6) 廉价和易获取性: Arduino Mega2560 是一款相对经济实惠的开发板, 它在市场上容易获得, 并且价格相对较低。这使得它成为学习、原型开发和中小规模项目的理想选择。

相比于目前船舶污水控制系统所常用的可编程控制器控制设备。两者相同的是能够读取大量的传感器信号, 并且把传感器输入的数据依据内部程序进行计算产生输出信号控制设备。两者不同的是 Arduino 开发板成本极低, 可编程

控制器设备成本是该单片机几十倍。对于 Arduino 芯片开发自由度高且配套资源丰富, 可编程控制器开发有一定规范性, 也受到局限性。在不同的情况下本系统所使用的 Arduino 芯片也具有适用性, 且有一定的优势。

1.2 控制系统架构及其通讯功能

文中给出用于船舶生活污水处理的控制体系结构, 系统采用 Arduino Mega2560 开发平台为主要控制器。

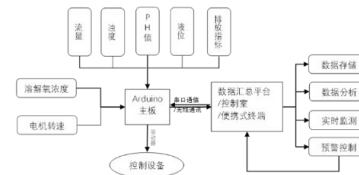


图1 船舶生活污水系统架构图

从图1中可以了解到控制芯片读取基本的流量、温度、pH 值、排放指标等, 控制架构图结合一下信息。

(1) 获取电机转速、溶解氧浓度、液位等系统运行关键参数。这几个参数决定系统运行是否良好。合适的溶解氧浓度是生物化学反应进行的基础, 电机转速对溶解氧浓度起着调节作用。

(2) 排放指标指的是包括 BOD₅ (五日生化需氧量)、COD (化学需氧量)、氨氮量、总氮、总氯、总磷。传感器读取这些数据, 判断是否满足排放标准。

(3) 控制主板可通过串口通信方式/无线通讯方式将数据传送到数据汇总平台、船舶机舱集控室或便携式终端, 数据存储可以生成历史参数曲线图等, 自动汇报污水记录。

该系统设计测定流量、温度、PH 值、液位、BOD₅ (五日生化需氧量) 等数据, 需要的具体传感器主要有: ORP 氧气浓度测量仪、MIK-投入式 FHS-1S-1T6OL-6SS 流量计、912120UV254 多波长传感器可测定 BOD₅ 和 COD_{Cr}、620911NH4-N pH 二合一传感器可测定 pH 值和氨氮量, 以及其他各类传感器。

在以上举出的传感器中多数与单片机连接, 其中一部分支持标准的 4-20mA 电流信号, 更多的关键传感器支持工业 Modbus 和 RS-485 通信协议。为了解决该通信壁垒, 单片机使用 TTL 转 RS-485 模块, 图 2 所示, 使得支持连接 RS-485 协议的传感器。单片机使用 Modbus 库函数使得单片机可以支持 Modbus 通信协议, 进而可以设置主/从站模式以及连接船舶局域网等功能。使用开源库结合开发板极大地降低了开发难度, 提高了开发效率、拓展了更多的功能。



图2 TTL 转 RS-485 模块

控制主板采用循环扫描的方式不断监测各项数据，通过数据传输方式将数据传送到 PC 端或设置好的数据汇总平台，数据传输方面可以采用无线传输模块或有线通信方式，其中有线通信采用上文提到的 Modbus 协议，若接入船舶局域网还需使用 TCP、UDP 协议。在实际的操作过程中可根据具体情况选择合理的通信方案。

执行器主要通过继电器模块实现控制，继电器抗干扰能力强，通讯稳定，而且同时支持不同类型的电流信号，能实现 Arduino 的低压对电气设备电压的控制。可通过远程控制继电器的开关，实现风机的启停、电磁阀的开关等。

2 Arduino 对溶解氧浓度控制

2.1 溶解氧浓度

船舶生活污水处理系统的处理效果受曝气过程的控制影响。研究船舶生活污水处理效果的有关学者，对 55 条安装生活污水处理装置的船舶进行长期的跟踪调查，对其排放的污染物数据记录并统计，分析得到 BOD₅ 和 COD 的不合格率在各项指标中最高。他们认为造成这一结果的重要原因是污水处理装置提供的氧气浓度不足或是电机故障导致活性污泥中的活性细菌浓度不达标，生化反应不能高效进行，进而影响污水处理效果。所以需要水中溶解氧的浓度进行测量，控制风机的风量合适。



图3 曝气箱的氧气溶解浓度的反馈调节

图3中展示的是曝气箱氧气浓度自动调节的闭环控制。闭环控制是依据控制对象输出反馈信息来进行修正的调节方式，它是在测量真实值与预定值发生偏差时，按定额或标准来进行纠正的。当我们需要控制一个电机的转速时，通过测量转速的传感器测得结果，并将结果反馈到系统控制中心上，控制中心在内部程序进行计算输出调整的电信号作用于电机调速。

2.2 PID 库与部分程序

PID 用于不能掌握目标的结构参数，不能得到精确的输入和输出之间的关系，即采用其他控制技术较为困难的情况。

在本系统的氧气浓度控制系统中氧气浓度与电机转速并没有明确的关系，不能根据具体的数学关系进行控制，是典型的可适用 PID 的控制系统。在 Arduino 程序中使用 Modbus 协议读取溶解氧传感器的值，并根据 PID 算法输出 PWM 信号来控制电机的转速需要以下过程，

第一步：导入所需的<ModbusRtu.h>和<PID_v1.h>，程序如下：

```
#include <ModbusRtu.h>
#include <PID_v1.h>
```

第二步：定义 Modbus 通信相关参数、溶解氧传感器相关参数、电机相关参数，PID 控制参数程序：// PID 控制参数

```
double setpoint = 7.5;           // 设定值（目标溶解氧浓度）
double input, output;           // 输入值（实际溶解氧浓度）和输出值（PWM 占空比）
double kp = 2, ki = 5, kd = 1;   // PID 参数
```

第三步：创建 PID 对象和创建 Modbus 主站对象，

```
// 创建 PID 对象
PID pid(&input, &output, &setpoint, kp, ki, kd, DIRECT);
```

第四步：程序初始化（初始化串口、设置 Modbus 从机 ID、初始化 PID 控制器、配置输出 PWM 波引脚）

第五步：运行主程序，如下：

```
void loop() {
    // 读取溶解氧浓度值
    readDissolvedOxygenValue();
    // 运行 PID 控制器
    pid.Compute();
    // 输出 PWM 信号控制电机转速
    analogWrite(MOTOR_PIN, output);
}
```

第六步：读取溶解氧浓度程序

3 结语

本文总结了该方向上前些年的经验，总体系统设计以传统活性污泥生化法处理为主，单片机内写入控制程序，实现该系统的自动化、智能化、信息化的同时避免使用 PLC 设备。就目前形式来看，实际上在很多的船舶上仍旧使用人工或半自动化方式，本文所设计的生活污水处理系统相比于一般的老、破、旧设备，处理生活污水更便捷，智能化程度更高，更便于船舶工作人员管理，低成本的设计更容易在船舶应用方面得到快速普及。

参考文献:

- [1]张青青,郑祥,程振敏,等.船舶污水处理技术研究与应用进展[J].舰船科学技术,2020,42(05):6-11.
- [2]程浩栋.船舶生活污水系统的改造现状及问题探讨[J].中国水运(下半月),2021,21(09):57-58.
- [3]贾建雄.船舶生活污水系统存在的深层次缺陷[J].船海工程,2017,46(04):30-33+40.
- [4]贾建雄.船舶生活污水系统改造如何满足新标准要求[J].中国船检,2019(09):86-89.
- [5]贾建雄,孙富.船舶生活污水处理系统设计缺陷及解决方案[J].航海技术,2018(02):60-62.
- [6]陈成达.船舶生活污水系统改造探究[J].船舶物资与市场,2022,(3):07-09.
- [7]吕茂翔.船舶生活污水处理系统改装研究[J].船舶物资与市场,2022,30(10):50-52.
- [8]朱昆鹏.集成式 MBR 船舶生活污水处理装置 CFD 设计及优化[D].大连海事大学,2017.
- [9]邵晓华,陈清.MBR 膜的特点及其在船舶生活污水处理中的应用研究[J].船舶工程,2019,41(04):125-127.
- [10]成飞.船舶机舱自动化设备的配置及监测报警技术[J].船舶物资与市场,2019,No.165(11):63-64.
- [11]施悦,蔡煜航,张坤,等.基于 STM32 单片机的新型智能化船舶生活污水处理控制系统[P].黑龙江: CN107162174A,2017-09-15.
- [12]侯铁仁,杨祥国,陈辉,等.内河船舶生活污水排放监测系统设计与实现[J].中国航海,2022,45(03):87-93+98.
- [13]包敬海,勾银,梁宇富等.基于 Modbus 协议的海水养殖监测系统的设计[J].钦州学院学报,2018,33(03):1-7.
- [14]杨琦.消防水池水质和水量监测指标与物联网系统构建的研究[J].给水排水,2019,55(11):103-107.
- [15]于春成.基于 PLC 的船舶生活污水处理系统设计与仿真[D].大连海事大学,2016.
- [16]梁跃,游常辉.船舶生活污水处理效果分析及达标对策[J].航海技术,2021(04):57-60.

作者简介:李继光(1981—),男,博士,副教授,研究方向:环境科学与工程。

通讯作者:孙慧(1981—),女,硕士,副教授,研究方向:环境科学与工程。

基金项目:北部湾大学广西自治区级大学生创新创业训练计划项目(S202211607213)