

适用于沿海滩涂水产养殖的水质溯源监测及安全预警系统设计

刘伟炜¹, 张 慧¹, 杨 鑫¹, 胡 峥¹, 赵梦圆¹, 宋 涵², 蒋善超², 黄公达³, 袁鹏飞³

¹盐城市计量测试所, 江苏 盐城

²盐城工学院电气工程学院, 江苏 盐城

³盐城城投数字科技有限公司, 江苏 盐城

收稿日期: 2026年8月3日; 录用日期: 2026年8月24日; 发布日期: 2026年9月7日

摘 要

随着智慧城市建设的深入推进, 传统水表单—计量功能的局限性日益凸显, 无法满足现代水务管理对水随着水产养殖产业规模化、集约化快速发展, 水质实时监测与智能调控是保障水产品质量安全、维持养殖生态环境稳定、实现养殖产业可持续发展的核心关键。为解决传统水产养殖水质管理人工化、滞后化、低效化的问题, 本文基于物联网技术设计开发一套集水质实时监测、智能调控、超限报警与远程管控于一体的水产养殖水质监控系统。该系统可实时采集水温、pH值、浑浊度、总溶解固体(TDS)等关键水质参数, 并通过OLED显示屏实时输出监测数据, 实现水质状态的可视化实时呈现。系统设置手动、自动双工作模式, 适配不同养殖管控场景需求: 手动模式下, 用户可通过实体按键或手机APP自主控制水泵启停, 完成人工干预调控; 自动模式下, 系统依托预设水质阈值实现智能化自主调控, 当水温、pH值、浑浊度、TDS等参数超出标准阈值范围时, 可自动启动水泵完成降温、水质稀释与酸碱中和等调控操作, 同时触发蜂鸣器报警提示, 及时预警水质异常。此外, 系统支持用户通过按键或手机APP自定义水质阈值, 具备良好的适配性与可调性。系统搭载ESP8266通信模块实现与云平台的数据传输, 可完成水质数据云端存储、实时远程监测与设备远程控制, 用户可通过手机APP查询历史监测数据、远程操控设备, 有效提升水产养殖水质管理的便捷性与灵活性。该系统集成实时监测、智能调节、异常报警、远程管控多项功能, 摆脱了传统养殖水质管理模式的局限, 可为水产养殖提供高效、智能化的水质管控方案, 适配规模化水产养殖场景, 具备良好的实用价值与广阔的应用前景。

关键词

水产养殖, 物联网, 水质监测, 智能调控, 远程控制

Design of Water Quality Traceability Monitoring and Safety Early Warning System for Coastal Tidal Flat Aquaculture

文章引用: 刘伟炜, 张慧, 杨鑫, 胡峥, 赵梦圆, 宋涵, 蒋善超, 黄公达, 袁鹏飞. 适用于沿海滩涂水产养殖的水质溯源监测及安全预警系统设计[J]. 水产研究, 2026, 13(3): 260-273. DOI: 10.12677/ojfr.2026.133030

Weiwei Liu¹, Hui Zhang¹, Xin Yang¹, Zheng Hu¹, Mengyuan Zhao¹, Han Song², Shanchao Jiang², Gongda Huang³, Pengfei Yuan³

¹Yancheng Institute of Measurement and Testing, Yancheng Jiangsu

²School of Electrical Engineering, Yancheng Institute of Technology, Yancheng Jiangsu

³Yancheng Urban Investment Digital Technology Co., Ltd., Yancheng Jiangsu

Received: August 3, 2026; accepted: August 24, 2026; published: September 7, 2026

Abstract

With the rapid large-scale and intensive development of the aquaculture industry, the limitations of traditional water meters with a single metering function have become increasingly prominent, failing to meet the requirements of modern water management. Alongside the rapid large-scale and intensive development of the aquaculture industry. Real-time water quality monitoring and intelligent regulation have become the core keys to ensuring the quality and safety of aquatic products, maintaining the stability of aquaculture ecological environments, and realizing the sustainable development of the aquaculture industry. To solve the problems of manual operation, hysteresis and low efficiency in traditional aquaculture water quality management, this paper designs and develops an aquaculture water quality monitoring and control system based on the Internet of Things technology, which integrates real-time water quality monitoring, intelligent regulation, over-limit alarm and remote management and control. The system can collect key water quality parameters in real time, including water temperature, pH value, turbidity, and total dissolved solids (TDS), and display monitoring data dynamically through an OLED screen, realizing visualized and real-time presentation of water quality conditions. Equipped with dual working modes of manual and automatic, the system adapts to the requirements of different aquaculture management scenarios. In the manual mode, users can independently control the start and stop of water pumps through physical buttons or mobile APPs to realize manual intervention and regulation. In the automatic mode, the system achieves intelligent autonomous regulation based on preset water quality thresholds. When parameters such as water temperature, pH value, turbidity and TDS exceed the standard threshold ranges, the water pump will be automatically started to perform regulatory operations including cooling, water quality dilution and acid-base neutralization, and the buzzer will be triggered to give an alarm for timely early warning of water quality abnormalities. In addition, the system allows users to customize water quality thresholds via buttons or mobile APPs, exhibiting excellent adaptability and adjustability. Equipped with an ESP8266 communication module, the system realizes data transmission with the cloud platform, enabling cloud storage of water quality data, real-time remote monitoring and remote equipment control. Users can query historical monitoring data and remotely operate equipment through mobile APPs, which effectively improves the convenience and flexibility of aquaculture water quality management. Integrating multiple functions including real-time monitoring, intelligent regulation, abnormality alarm and remote management, the system breaks through the limitations of traditional aquaculture water quality management modes. It can provide an efficient and intelligent water quality management scheme for aquaculture, which is suitable for large-scale aquaculture scenarios and has good practical value and broad application prospects.

Keywords

Aquaculture, Internet of Things, Water Quality Monitoring, Intelligent Regulation, Remote Control

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

沿海滩涂是我国海水水产养殖的核心载体与海洋渔业高质量发展的重要资源。当前,滩涂水产养殖规模化、集约化发展趋势显著,养殖产能持续提升,但也面临水质动态波动频繁、局部水体退化、生态稳定性弱化等突出问题[1][2]。相较于内陆静态养殖水体,滩涂水域受潮汐交替、气候变化、外源污染及养殖尾水排放等多重因素耦合影响,水温、pH 值、浑浊度、总溶解固体(TDS)、核辐射废水等关键水质参数波动随机性强、变化速度快,极易造成养殖生物生长受阻、病害多发、水产品品质下降。同时,粗放的水质管控模式易引发近岸水体富营养化,破坏海岸带生态平衡,难以适配现代渔业绿色安全、可持续发展的核心要求。目前,国内滩涂养殖仍普遍采用人工定期采样、离线实验室检测的传统管控方式,存在监测间断、数据滞后、人工成本高、异常溯源困难等诸多弊端,难以捕捉潮汐时段水质瞬时突变特征,水质异常发现与调控干预滞后[3]-[5]。当前,国内外针对水产养殖水质监测与预警技术已开展大量研究,智慧渔业技术体系日趋完善,但适配沿海滩涂动态复杂水体的溯源预警一体化技术仍存在明显短板。欧美、日本等发达国家智慧水产技术起步较早,依托物联网、大数据与云计算技术,构建了成熟的海水水质自动化管控体系,可实现水质参数实时监测、分析与联动调控,相关设备系统稳定性高、智能化程度突出,但设备成本高昂,且多适配标准化近海养殖池,对我国潮汐扰动强、环境复杂的滩涂养殖场景适配性较差。

针对上述行业痛点与技术短板,本文基于物联网与嵌入式控制技术,设计适配沿海滩涂水产养殖的水质溯源监测及安全预警系统。系统可实时采集水温、pH 值、浑浊度、TDS、核辐射等核心水质参数,通过 OLED 屏幕实现本地数据可视化展示,同时设置手动、自动双工作模式,支持自定义水质阈值,可实现水质超限自动调控与蜂鸣预警。依托 ESP8266 无线通信模块,系统可完成水质数据云端存储、溯源查询与设备远程管控,有效解决传统人工管控低效、滞后、不可追溯的问题,具备良好的实用价值与应用前景。

2. 控制系统总体设计

系统整体采用模块化设计思路,以物联网技术为核心,融合水质数据采集、阈值判断、自动调控、声光预警、本地显示及云端远程管控功能,实现滩涂养殖水质全天候、高精度、可追溯的智能化管理。

系统总体硬件架构以 STM32F103C8T6 单片机为主控核心[6],集成多类功能模块,包括多参数水质传感模块、主控模块、OLED 显示模块、声光报警模块、ESP8266 无线通信模块、水泵执行模块及电源模块。其中,水质传感模块搭载水温、pH 值、浑浊度、TDS 传感器、核废水传感器,可实时、同步采集滩涂养殖水体关键水质指标,为水质状态分析与异常溯源提供连续数据支撑。主控模块负责完成数据接收、阈值比对、逻辑判断与设备联动控制,根据水质超标情况自动驱动水泵执行水体降温、酸碱中和、水质稀释等调控操作。系统配备蜂鸣器与多色 LED 指示灯实现分级安全预警,可直观反馈水质正常、警戒与超标状态,有效提升异常响应效率。系统总体框架图,如图 1 所示。

系统支持手动与自动双模式切换,既可通过本地按键与手机 APP 实现人工精准干预,也可依托自定义阈值完成全自动智能管控,适配滩涂养殖不同场景的动态管控需求。借助 ESP8266 Wi-Fi 模块,系统可实现水质数据云端上传、存储与远程查询,支持历史数据溯源分析与设备远程控制,解决了传统养殖管控智能化不足、数据不可追溯、运维不便等问题。模块化硬件架构兼顾稳定性、扩展性与经济性,各单元分工明确、协同运行。

3. 硬件模块设计

在沿海滩涂水产养殖水质溯源监测系统里,硬件设计构成了该系统实现功能的基础和中心。

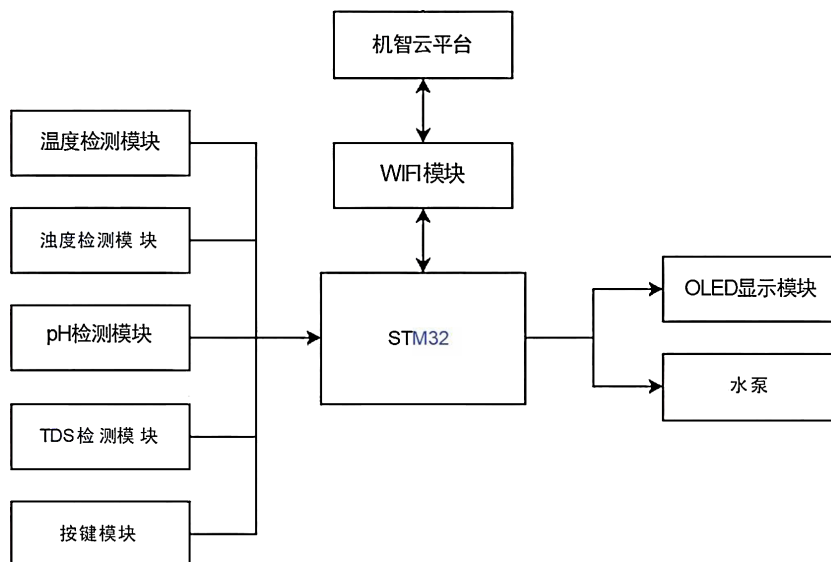


Figure 1. Overall block diagram of the system

图 1. 系统总体框图

3.1. STM32F103C8T6

作为本文系统的主控模块，STM32F103C8T6 使用 ARM Cortex-M3 核心作为 32 位微控制器，它拥有多样化功能，可以适应不同应用。该芯片主频可以达到 72 MHz，数据处理性能良好，特别适合用于本文实时系统开发，如图 2 所示[7]。

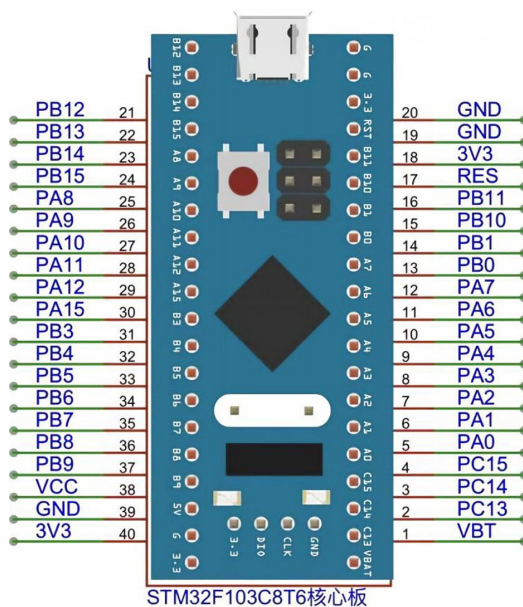


Figure 2. STM32F103C8T6

图 2. STM32F103C8T6

3.2. 浊度检测模块

浑浊度检测模块在水质监测系统中起到主要作用，可以实时对水中悬浮颗粒物的浓度进行检测。水

中存在的悬浮颗粒物包括泥沙、藻类、微生物、有机物等，会改变水的透明度，并且影响水生生物的生长和水的安全性。该模块运用光散射和吸收原理，使用 LED 灯等光源照射水体，依靠接收器检测水中光的变化以确定水体浑浊程度。其电气原理图如图 3 所示。

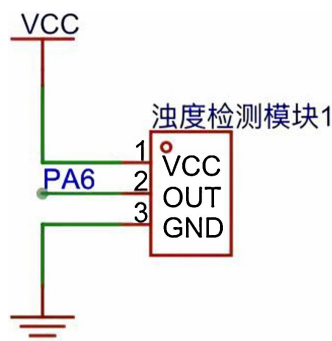


Figure 3. Turbidity detection module
图 3. 浊度检测模块

3.3. TDS 检测模块

TDS 总溶解固体检测模块属于水质监测系统里的主要部分，该模块用来对水中溶解物质包括盐类、矿物质和有机物质的浓度进行测量，电气原理图如图 4 所示。

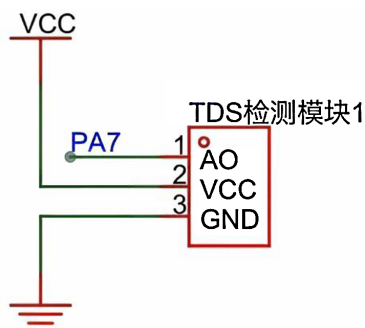


Figure 4. TDS detection module
图 4. TDS 检测模块

3.4. DS18B20 模块

DS18B20 模块可以在温度范围内给出准确的温度读数，测量范围覆盖 -10°C ~ $+60^{\circ}\text{C}$ 、精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，并且拥有较好的抗干扰能力，很适合在水质监测系统中使用，用来实时监测水温。在引脚配置上，DS18B20 模块包括电源引脚 VCC 和 GND、数据引脚 DQ。DQ 引脚主要负责温度数据的传输工作，并连接到微控制器的输入端，依靠 One-Wire 协议来进行通信，电气原理图如图 5 所示[8]。

3.5. pH 检测模块

该模块通常包括 pH 电极和信号调节电路，测量范围 0~14，如图 6 所示。pH 电极和水中氢离子发生反应产生电压信号，信号调节电路对其进行转换并把电压信号输出到微控制器。模块的工作原理是依靠氢离子浓度在电极上所产生的电压差来进行测量。微控制器利用 ADC 模块把信号变成数字数据，同时按照设定好的阈值来判断水质有没有超标。

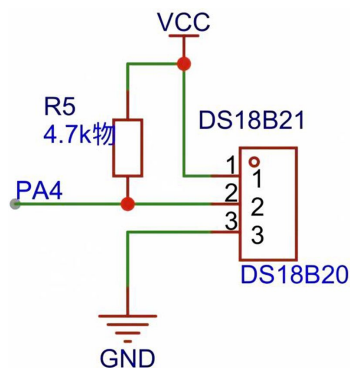


Figure 5. DS18B20

图 5. DS18B20

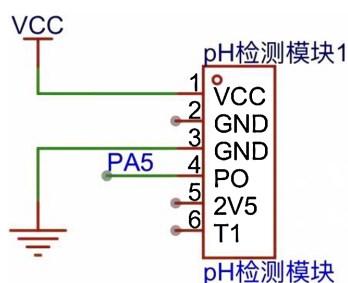


Figure 6. pH detection module

图 6. pH 检测模块

3.6. 核废水检测模块

沿海滩涂毗邻近海海域，存在外源放射性核素污染侵入养殖水体的风险，核废水检测模块是本系统实现水质安全溯源、放射性污染预警的专用硬件单元，可实时监测养殖水体放射性活度，填补常规水质传感器无法识别核污染的监测空白，保障滩涂水产品食用安全与海岸生态稳定。该模块核心探测单元采用防水型盖革-米勒(GM)计数管，搭配升压信号调理电路，能够捕捉水体中 γ 射线电离脉冲信号，将辐射强度转化为连续模拟电压量输出至主控 STM32 单片机 ADC 采集端口，实物如图 7 所示。

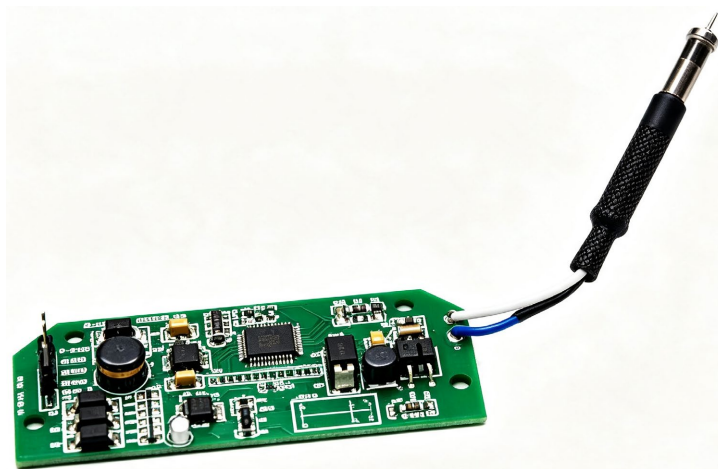


Figure 7. Nuclear wastewater detection module

图 7. 核废水检测模块

模块整体采用全密封防水外壳, 探测范围 $0.01\sim 50,000\ \mu\text{Sv/h}$, 适配滩涂高盐、高湿、潮汐浸没复杂水环境, 有效屏蔽海水盐分、悬浮物对探测元件干扰, 保证长期原位监测稳定性。

3.7. ESP8266 模块

ESP8266 模块属于一种应用范围很广的 Wi-Fi 通信模块, 经常出现在物联网 IoT 项目里, 它可以完成设备同互联网之间的无线连接。在水质监测系统中, ESP8266 模块利用 Wi-Fi 把采集到的水质数据上传到云平台或者发送到手机 APP, 达到对数据进行远程监控的目的[9]。

3.8. 水泵模块

水泵模块在水质监测和控制系统里发挥着重要作用, 该模块的主要功能是依据实时采集到的水质数据, 对水流进行自动调节或者进行水质调节操作。当水温较高、pH 值不适宜、浑浊度较高或者 TDS 较大时, 水泵模块会启动, 来协助系统恢复到正常的水质状态, 如图 8 所示。

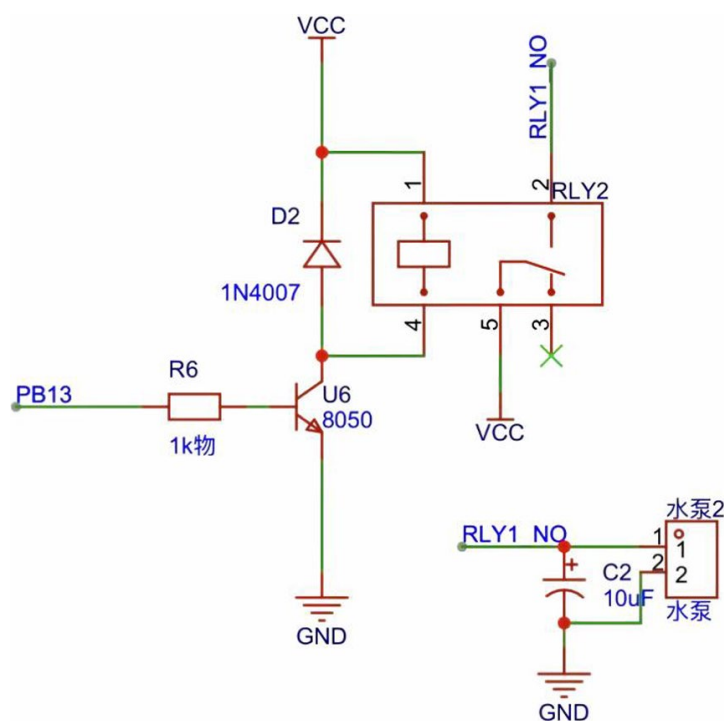


Figure 8. Water pump module
图 8. 水泵模块

3.9. 蜂鸣器模块

蜂鸣器模块属于水质监测系统报警组件, 它主要用来发出声音警告, 以提醒用户水质超出设定的安全阈值, 如图 9 所示[10]。

4. 软件设计

本文系统主程序依靠微控制器来协调各个模块的工作, 保证系统可以实时响应水质的变化。微控制器通过对各个传感器模块的数据进行读取, 来判断水质是否达到设定的标准, 并据此决定是否执行相应的措施, 其设计框图如图 10 所示[11] [12]。

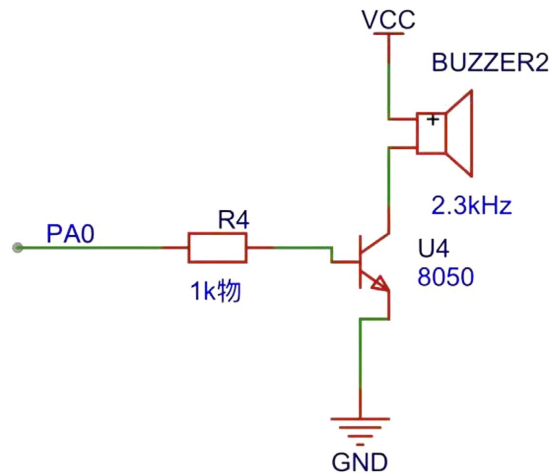


Figure 9. Buzzer module
图 9. 蜂鸣器模块

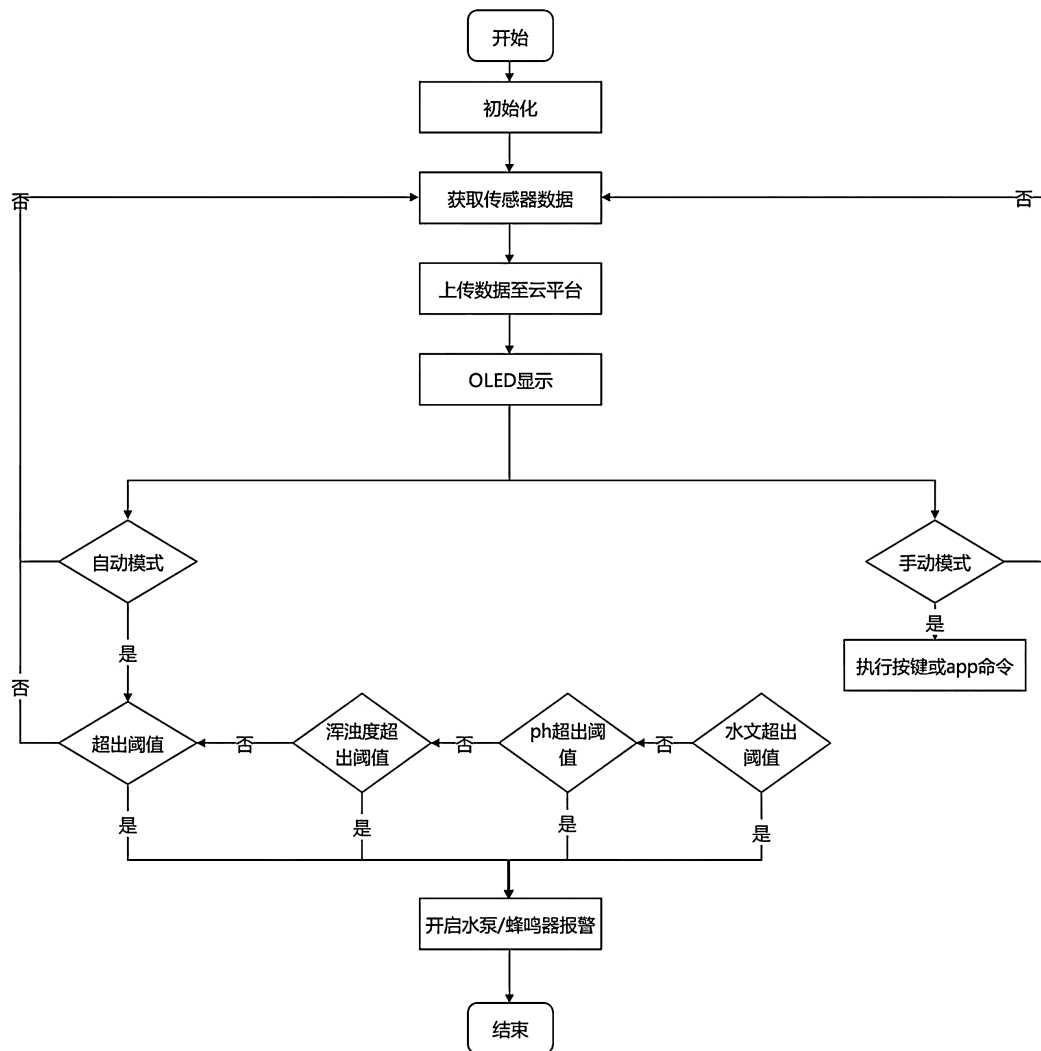


Figure 10. Software flow framework diagram
图 10. 软件流程框架图

4.1. 浑浊度检测子程序

浑浊度检测子程序会实时监控水体浑浊度，并且根据设定的阈值来判断水质的清洁程度。程序先由微控制器采集浑浊度传感器的测量数据，并把传感器输出的模拟信号利用 ADC 转换成数字信号，其流程图如图 11 所示。

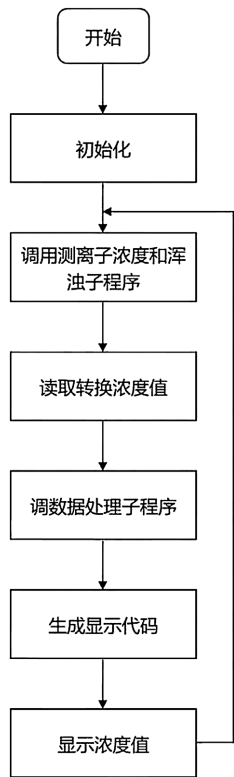


Figure 11. Flowchart of the turbidity detection subroutine
图 11. 浑浊度检测子程序流程图

4.2. TDS 检测子程序

TDS 检测子程序用来实时监控水中溶解固体物质的浓度。程序先从 TDS 传感器获得模拟信号，该信号代表水中溶解物质的电导率。微控制器利用 ADC 模块把模拟信号转变为数字信号，接着对信号进行滤波和噪声抑制。处理后的 TDS 值会与设定的阈值进行比较，以此来判断水体是否超标，其流程图如图 12 所示。

4.3. 显示模块子程序

显示模块子程序把水质监测系统里的实时数据展示在 OLED 屏幕上，让用户可以直接看到水质参数的变化。程序的首要步骤是对 OLED 显示模块进行初始化，以保证屏幕可以正确地响应微控制器的指令，并且已经准备好接收数据。在初始化过程中，系统会把屏幕进行清空操作，并且对显示的基本格式和布局进行设置，一般包括标题、传感器数据、警告信息和系统状态等内容。

4.4. DS18B20 模块子程序

DS18B20 模块子程序主要负责读取水质监测系统中 DS18B20 温度传感器的温度数据，并且对这些数据进行处理和显示。程序先对 DS18B20 传感器进行初始化，使其可以正常启动并和微控制器通信。主

程序利用 One-Wire 协议对 DS18B20 模块发送定期命令以启动温度测量，并且等待响应。每次读取时，程序会利用转换后的数字信号得到温度值，并把它传送到微控制器进行处理，流程图如图 13 所示。

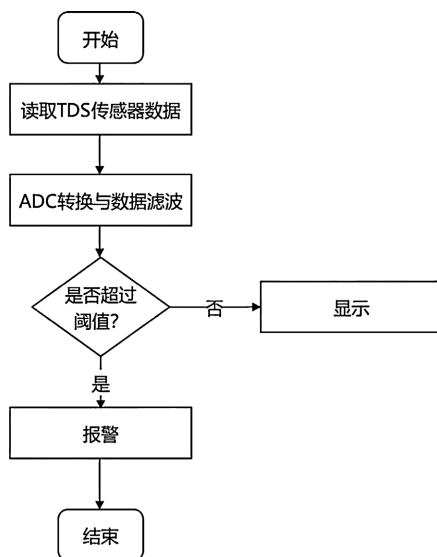


Figure 12. Flowchart of the TDS detection subroutine
图 12. TDS 检测子程序流程图

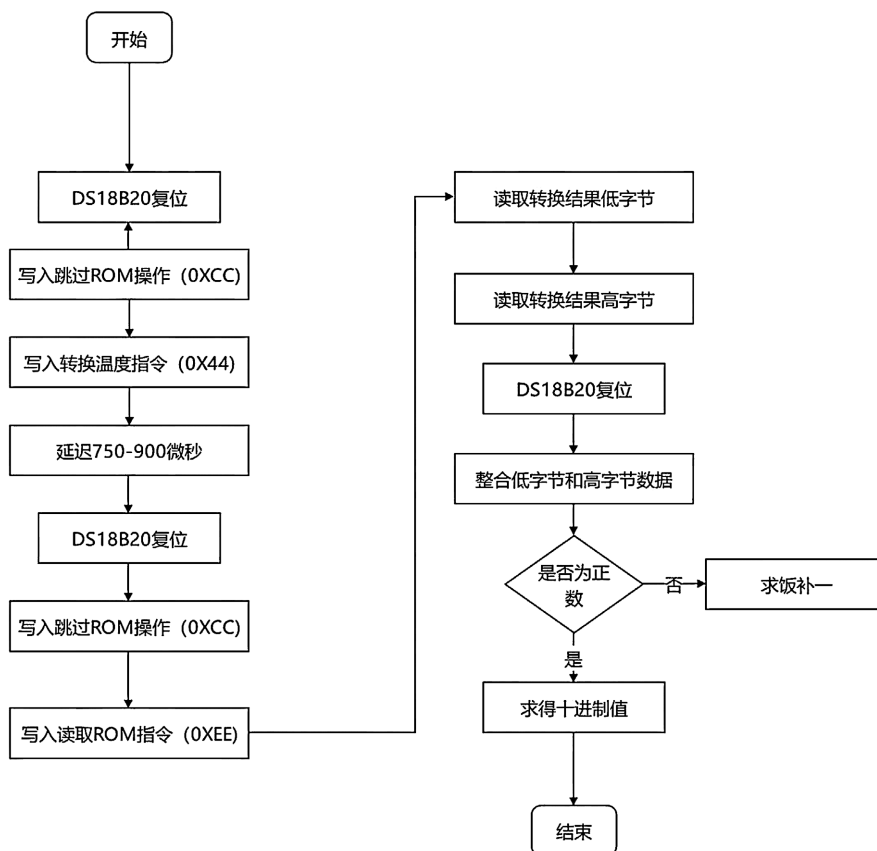


Figure 13. Flowchart of DS18B20 Subroutine
图 13. DS18B20 程序流程图

4.5. PH 检测子程序

pH 检测子程序读取水质中 pH 值的变化情况，让系统能及时发现水体的酸碱度异常。程序先对 pH 传感器进行初始化，保证它同微控制器之间的通信正确。pH 电极的工作原理是检测水中氢离子浓度的变化，从而生成一个和 pH 值成正比的电压信号。该信号经模拟输入接口传入微控制器，在 ADC 转换后，程序会对信号进行处理和分析。

4.6. WiFi 子程序

WiFi 子程序主要负责把水质监测系统和云平台或者移动设备建立无线通信连接，使用户可以远程对水质数据进行监控，并且控制该系统。子程序利用 ESP8266 WiFi 模块来进行通信。在初始化阶段，程序会对 WiFi 网络进行配置，并且连接到指定的路由器，然后和云平台建立通信连接。连接完成后，系统会利用 WiFi 模块把实时的水质数据，比如水温、pH 值和 TDS 值等，上传到云端，用户可以借助 APP 或者网页实时查看数据，并且对设备进行远程控制。WiFi 子程序也负责对数据进行上传和下载，以保证水质数据得到及时更新，其流程如图 14 所示。

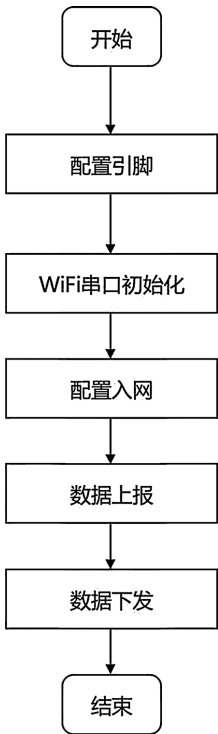


Figure 14. Flowchart of WiFi subroutine
图 14. WiFi 子程序流程图

5. 实物测试及分析

系统通电后系统开始初始化，初始化完成后显示屏开始显示当前信息。第一行显示水温，第二行显示浊度，第三行显示 TDS 和 ph，第四行显示系统模式，如图 15 所示。

5.1. 自动模式

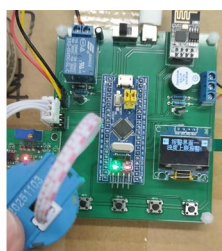
在自动模式下，长按第一个按键两秒进入设置界面，把浑浊度上限设置为 1000，当系统检测到浑浊

度为 1081 时, 高于设置的上限阈值时蜂鸣器开始报警; 把温度上限设置为 25°C , 当系统检测到温度为 27.9°C 时, 高于设置的上限阈值时蜂鸣器开始报警; 把 TDS 上限设置为 155, 当系统检测到 TDS 为 178 时, 高于设置的上限阈值时蜂鸣器开始报警; 把 pH 下限设置为 4, 当系统检测到 pH 为 3.7 时, 低于设置的下限阈值时蜂鸣器开始报警, 如图 16 所示。



Figure 15. Initialization interface

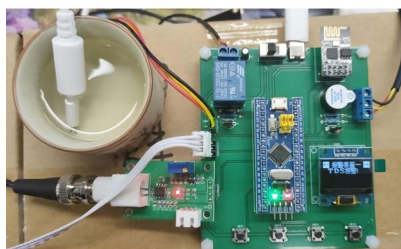
图 15. 初始化界面



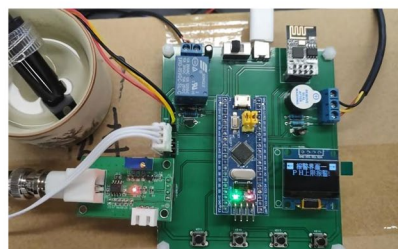
(a) 浑浊度



(b) 温度



(c) TDS



(d) pH

Figure 16. System test results

图 16. 系统测试结果图

5.2. 手机控制

通过机智云配网完成后, 可以在手机上完成相关操作, 如图 17 所示。

通过上述对本系统整机通电初始化、本地 OLED 可视化显示、阈值自定义、自动联动调控、云端远程管控等全部预设功能均可稳定实现。自动模式下系统可精准采集水温、浊度、TDS、pH 四类核心水质参数, 能够根据用户预先设定的上下限阈值实时判定水质异常, 参数超标时同步触发蜂鸣声光报警并驱动水泵开展稀释、降温、酸碱中和等水质修复操作, 各项指标超限识别响应及时、控制逻辑可靠; 依托

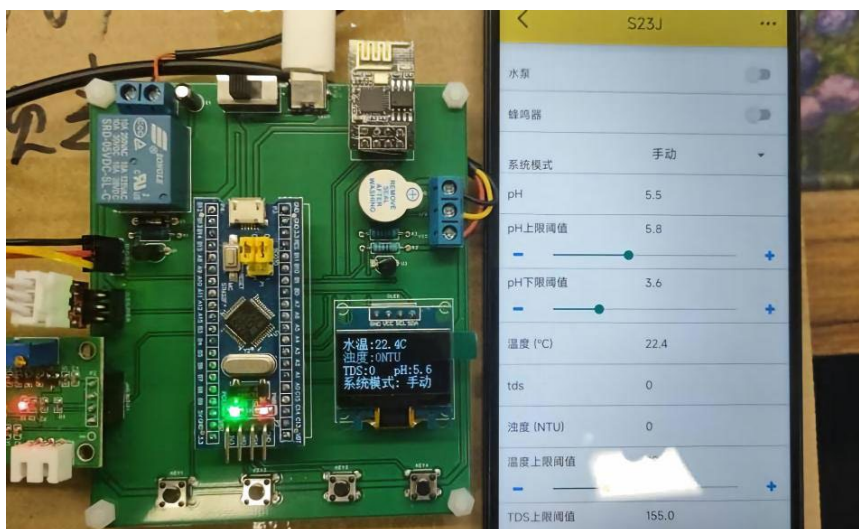


Figure 17. Mobile phone control interface

图 17. 手机控制界面

ESP8266 模块完成机智云配网后, 移动端 APP 可完整实现远程数据查看、设备操控、历史水质溯源等功能, 本地手动调控与云端远程管控两种运行模式切换流畅。本文系统硬件集成度高、操作门槛低、环境适配性强, 可直接应用于规模化滩涂海水养殖池日常运维, 能够显著降低人工管护成本, 具备良好实用价值与广阔推广前景。

6. 结论

本文针对沿海滩涂水产养殖水质管控人工滞后、数据无法溯源、缺少一体化预警调控手段的行业痛点, 基于物联网与 STM32 主控硬件, 设计集成多传感器、云端传输、本地交互的水质溯源安全预警系统。系统硬件由多水质传感、STM32 主控、ESP8266 无线、水泵执行、声光报警、OLED 显示、按键电源模块组成; 软件配套多参数采集、阈值判断、云端上传、远程控制子程序, 支持手动/自动双运行模式。实物测试表明, 设备可实时精准采集水温、pH、浊度、TDS、核辐射指标, 超标时自动启动水泵并声光告警, 支持本地按键与手机 APP 自定义阈值、远程查看历史水质数据, 监测与联动调控逻辑稳定可靠。该系统弥补传统养殖间断采样、调控滞后的短板, 实现水质全周期数据可追溯, 大幅降低人工管护成本, 可适配规模化滩涂养殖场景, 为沿海智慧渔业、养殖生态安全管控提供低成本智能化方案, 助力水产养殖产业绿色数字化转型升级。

基金项目

江苏省市场监督管理局科技计划项目(KJ2026100, KJ2025083)、盐城市重点研发计划(社会发展)项目(YCBE202506)。

参考文献

- [1] 王博龙, 李博然, 岳雯, 等. 人工智能算法在水质监测中的应用[J]. 北方建筑, 2026, 11(3): 81-85.
- [2] 郑润祖, 王嘉乐, 黄玥, 等. 基于水产养殖的水质监测自清洁装置设计[J]. 农业装备与车辆工程, 2025, 63(10): 38-42.
- [3] 王嘉宁, 郝传柱. 基于 STM32 的智能水质检测系统研究[J]. 设备管理与维修, 2024, 20(20): 170-172.
- [4] 刘作鹏. 基于单片机技术的水质检测系统设计[J]. 电子技术, 2024, 53(10): 30-31.

-
- [5] 杜子俊. 家庭饮用水水质安全检测系统的设计与研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2024.
 - [6] 卢姗姗, 江建博, 史卜凡, 等. 基于分光光度分析的工业水质检测设备的研究与应用[J]. 工业仪表与自动化装置, 2023, 5(5): 21-26.
 - [7] 王韵琪, 尤文杰, 李呈祥, 陆磊. 基于物联网的水产智能养殖环境监控系统设计[J]. 科技风, 2022, 34(34): 1-3.
 - [8] 彭琛, 陈伟平, 曾昱. 物联网技术在智能水产养殖系统中的应用[J]. 湖南文理学院学报(自然科学版), 2021, 4(4): 10-13.
 - [9] 张红斌, 王秀利. 养殖鱼塘水质动态检测与分析[J]. 渔业致富指南, 2019, 19(19): 63-68.
 - [10] 雷善瑞. 基于树莓派的水产养殖参数远程监测系统设计[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连工业大学, 2023.
 - [11] 徐江莉, 康家林, 姚传安. 基于 STM32 单片机的水环境监测系统研究[J]. 成都航空职业技术学院学报, 2022, 38(1): 61-63.
 - [12] 严路昊. 水质监测无人船路径规划算法研究及系统实现[D]: [硕士学位论文]. 沈阳工业大学, 2025.