

基于ESP8266的田螺养殖水质检测和控制系統

苏永鳳, 余家贝, 东佳佳, 孙紫阳, 冯含湘, 胡雨馨

天津职业技术师范大学, 天津

收稿日期: 2026年9月12日; 录用日期: 2026年10月14日; 发布日期: 2026年10月23日

摘要

针对国内田螺散户养殖管理粗放、人工成本高, 商用多参数水质监测设备价格昂贵、难以普及的问题, 本文基于ESP8266 (NodeMCU V3)设计一款极低成本、可多参数协同调控的田螺养殖水质智能控制系统。系统可采集温度、TDS、溶解氧、pH值真实水质数据并实现自动换水控制; 为降低硬件成本, 本文采用创新性数值模拟方法, 基于水环境演化机理建模, 结合养殖时长与环境温度推演水质变化规律, 在规避pH、溶解氧实体传感器高昂成本的同时, 仍可纳入原有系统框架, 保持接近实体传感器的水质预判与调控效能, 实现无实体传感器条件下的水质超标预判、定时增氧与换水调控。系统基于Arduino IDE开发, 支持本地网页与Blynk APP远程监测、超标报警及手动控制, 预设田螺养殖安全阈值。实测表明系统运行稳定、响应迅速, 整机硬件成本仅85元。设备拓展性强、适配小型塘口养殖场景, 有效填补低成本水产智能设备空白, 助力散户田螺养殖智能化升级。

关键词

ESP8266, 田螺养殖, 水质监测, 物联网, 自动调控

Research on Water Quality Monitoring and Control System for Snail Breeding Based on ESP8266

Yonghuang Su, Jiabei Yu, Jiajia Dong, Ziyang Sun, Hanxiang Feng, Yuxin Hu

Tianjin University of Technology and Education, Tianjin

Received: September 12, 2026; accepted: October 14, 2026; published: October 23, 2026

Abstract

Aiming at the problems of extensive management and high labor cost for small-scale snail farmers in China, as well as the high price and low popularization of commercial multi-parameter water

文章引用: 苏永鳳, 余家贝, 东佳佳, 孙紫阳, 冯含湘, 胡雨馨. 基于 ESP8266 的田螺养殖水质检测和控制系統[J]. 农业科学, 2026, 16(10): 1516-1529. DOI: 10.12677/hjas.2026.1610181

quality monitoring equipment, this paper designs an ultra-low-cost intelligent water quality control system for snail aquaculture with multi-parameter coordinated regulation based on ESP8266 (NodeMCU V3). The system can collect real water quality data of temperature, TDS, dissolved oxygen and pH value and realize automatic water exchange control. To reduce hardware cost, this paper adopts an innovative numerical simulation method, establishes a water environment evolution mechanism model, and deduces the variation law of water quality combined with breeding duration and ambient temperature. While avoiding the high cost of physical pH and dissolved oxygen sensors, it can still be integrated into the original system framework and maintain the water quality prediction and regulation performance close to that of physical sensors, realizing water quality excess prediction, timed aeration and water exchange regulation without physical sensors. Developed with Arduino IDE, the system supports remote monitoring, over-limit alarm and manual control via local web pages and the Blynk APP, with preset safety thresholds for snail breeding. Practical tests show that the system runs stably and responds rapidly, with a total hardware cost of only 85 RMB. Featuring good expansibility and suitability for small-scale pond scenarios, the system fills the gap in low-cost intelligent aquaculture equipment and facilitates the intelligent upgrading for small-scale snail farmers.

Keywords

ESP8266, Snail Breeding, Water Quality Monitoring, Internet of Things, Automatic Regulation

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

我国是全球第一大淡水养殖国,淡水养殖是保障大食物观、稳定优质动物蛋白供给、助力乡村振兴的核心产业。2025 年全国淡水养殖产量 3674.76 万吨,占全国水产养殖总产量 58%以上[1],常年稳定支撑数千万农户就业。近年来水产业绿色转型[2],天津等沿海地区水产养殖产量已经远超捕捞产量。田螺是我国重要特色淡水养殖经济品种,兼具食用、药用及生态修复价值,市场需求旺盛。国内田螺年产量超 200 万吨[1],产业多以稻田种养、池塘精养的散户模式为主,整体呈现小规模、低集约化、人力依赖性强的特征[3]。中华圆田螺对水环境条件要求严苛,适宜生存水温区间为 20~28℃;水温低于 15℃进入摄食停滞冬眠,高于 30℃停止进食,超过 40℃会批量死亡;适宜 pH 维持 6.5~7.8,溶解氧 ≥ 3.5 mg/L, TDS 应当控制在 500 ppm 以内[3] [4]。目前中小养殖户普遍缺少标准化水质监测设备,养殖管理高度依赖人工,难以实时获取水温、溶解氧、TDS 等关键指标,换水操作存在滞后。

传统养殖依靠肉眼、手感判断水体状态,人工巡检耗时费力,难以及时把控环境阈值[5],容易引发应激、死亡,造成经济损失。随着物联网、传感器技术的发展和应用,渔业领域逐渐引入了自动化监控设备[5]-[7]。然而当前水产监测设备存在两极分化:高端设备价格高昂操作复杂,简易设备功能单一,缺少适配中小散户的低成本智能化方案。针对田螺养殖场景的智能化改造需求,本文基于 ESP8266 搭建四层物联网架构,完成水质监测与自动换水调控系统,开展模拟养殖环境验证,可为中小型田螺养殖塘口提供低成本智能化解决方案,助力水产养殖转型升级。

Lévano-Rodriguez 等人为突破水产水质监测的技术瓶颈,研发了一款模块化自供电水质监测浮标系统[8]。系统融合光伏供电与 LoRa 无线通信,可实时监测水温、pH、溶解氧、电导率等关键水质参数,具备 48 小时自主续航、500 米稳定传输的能力,适配小型养殖场景。同时该研究指出,设备抗恶劣环境

能力与续航稳定性仍有缺陷,有待后续优化完善。国内诸多学者也针对水产水质监测系统开展相关研究[5][7],部分研究采用商用集成传感模组实现多参数水质采集,设备监测性能优异,但硬件投入成本高,系统部署复杂,大多面向规模化大型养殖场,难以适配散户塘口使用场景[9];也有研究基于单片机开发简易监测终端[10],虽一定程度压缩了硬件成本,但监测参数较为单一,缺少 pH、溶解氧等关键水质指标的拓展接入能力,控制逻辑仅设置简单阈值换水,尚未考虑多环境因子协同调控;还有部分系统仅完成水质数据采集与网页、APP 端展示,缺少本地设备自动调控的闭环功能,在小规模特色水产养殖场景中适用性有限。综合已有研究可以看出,现有水产监测方案存在明显两极分化,缺少面向田螺散户养殖场景、具备传感器拓展潜力与自动调控能力的低成本一体化方案。基于此,本文在 Arduino 开发环境下,以 ESP8266 微控制器为核心搭建硬件平台,硬件架构简洁,物料成本低廉。系统完成水温、TDS 指标采集与自动换水调控;在设计层面支持拓展模拟采集通道,预留 pH、溶解氧传感器接入的实现路径,为后续开展多参数协同判断控制提供设计基础,兼具远程数据可视化、超标报警功能,适配稻田、池塘小规模田螺养殖场景,可为中小散户提供轻量化、具备功能拓展潜力的水质智能管控解决方案。

2. 实现方法

本文针对小型散户田螺养殖场景,基于物联网分层架构设计思路,搭建感知层、控制层、通信层、交互层四层一体化智能监控调控系统,解决传统田螺养殖水环境监测滞后、换水调控粗放、人工成本高的问题。系统以 ESP8266 (NodeMCU V3)为核心控制单元,集成环境传感采集、自动执行调控、无线数据传输、远程人机交互功能,依托单芯片集成方案简化硬件结构、压缩设备成本,适配中小型田螺养殖塘口低成本智能化改造需求。

2.1. 系统总体架构

本系统采用感知层、控制层、通信层、交互层四层物联网分层架构[11],各层级分工协作,实现养殖水体全天候监测与智能调控、远程管理。

2.1.1. 感知层

感知层作为数据采集终端实时获取养殖水体参数,搭载 DS18B20 温度传感器与 TDS 水质检测模块,将环境物理信号转化为电信号,为系统决策提供原始数据[12][13],并通过状态指示灯反馈设备工况。DS18B20 借助单总线与 CRC 校验实现高精度测温;TDS 模块基于水体离子导电特性检测水质,配套温度补偿算法降低测量误差。

2.1.2. 控制层

控制层为系统决策与执行中枢,接收感知层数据,完成数据校正、阈值与故障判定,输出指令驱动设备实现自主控制[11];本系统选用 NodeMCU V3 为主控单元,驱动水泵换水。ESP8266EX 片上集成 MCU 与 WIFI 单元,简化外围电路;配合光耦隔离继电器实现强弱电隔离[14],具备数据缓存、超时报警、传感器故障识别能力,无需额外控制器即可独立完成监测与换水决策。

2.1.3. 通信层

通信层依托 ESP8266 板载 WIFI 实现双向无线通信,上传校正后的环境参数与设备状态,接收交互层下发控制指令;内置 WIFI 自动重连机制,适应户外塘口复杂网络条件。

2.1.4. 交互层

交互层包含本地 Web 网页终端与 Blynk 手机 APP,支持数据可视化、历史数据查询与远程手动操控,集成超标预警、故障报警功能[6][15],构建“智能自动 + 人工辅助”管控模式,系统整体架构如

图 1 所示。

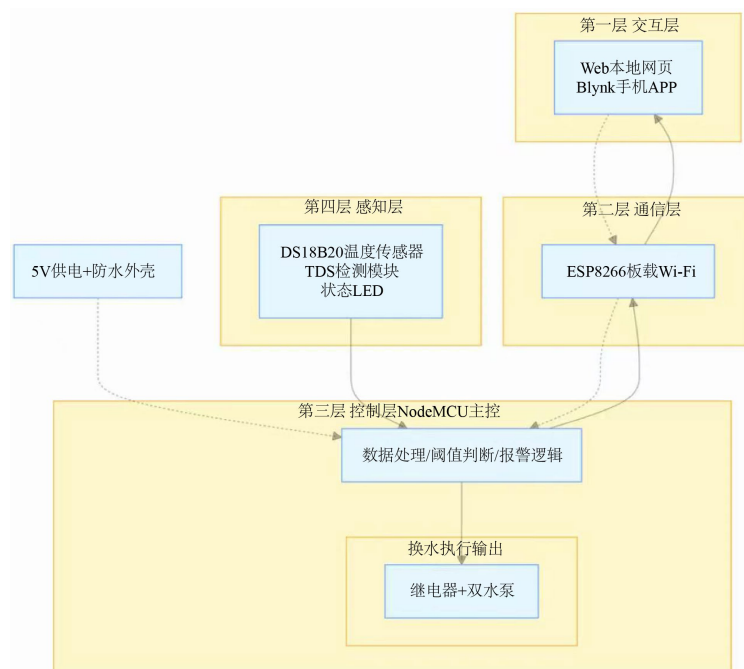


Figure 1. Overall architecture of intelligent monitoring system for river-snail aquaculture

图 1. 田螺养殖智能监控系统总体架构

2.2. 系统硬件设计

整套硬件采用模块化方案，结构简洁、便于安装、造价低廉，分为核心控制单元、环境感知模块、换水执行机构、配套辅助硬件四大模块。

2.2.1. 核心控制单元

主控设备选用 NodeMCU V3 开发板，搭载 ESP8266EX 主控芯片，作为整套系统的控制与通信核心。

性能参数：内置 80 MHz 主频 32 位处理内核，集成 802.11 b/g/n WIFI 模块，配备 17 路通用 GPIO 引脚、1 路 10 位模数转换接口，外置 4 MB Flash 与 USB-TTL 下载电路，支撑数据处理、信号采集与无线传输全过程。

开发适配：依托 Arduino IDE 完成程序编写、烧录与调试，支持 OTA 空中升级，方便后期功能迭代与维护。成本优势：单块开发板采购成本约 15 元，可独立实现数据接收、逻辑判断、指令下发与数据上传，无需额外外接单片机，有效简化硬件架构、降低成本。

ESP8266EX 采用 MCU + WIFI 单芯片集成架构，片内集成 ADC、GPIO 控制器与射频单元。相较于传统“单片机 + 外置 WIFI 模块”方案，减少接线数量与信号干扰；4MB Flash 可存储程序与 24 小时短时水质缓存数据，USB-TTL 简化程序烧录，OTA 无线升级无需拆卸设备，适合户外塘口运维[11]，在低成本水产物联网终端中具备较高应用价值。

2.2.2. 水体环境感知模块

感知模块包含温度、水质检测单元，结合校正算法保证采集精度。

DS18B20 数字温度传感器：采用单总线通信，配备防水探头可直接浸入养殖水体；测温范围

-55℃~125℃，田螺养殖区间测量精度可达±0.5℃；硬件串联 4.7 kΩ 上拉电阻接入 3.3 V 电源采集水温[12]。传感器基于 PN 结温变原理数字化测温，内置 CRC 校验抑制水体电磁干扰，防水探头支持长期水下布设，可多传感器级联实现多点测温。

TDS 水质检测模块：依靠水体电导率换算总溶解固体含量，模拟信号接入 ESP8266 的 A0 引脚，量程 0~1000 ppm，测量误差 ±10%。为消除温度干扰，采用补偿公式：

$(TDS_{\text{compensated}} = TDS_{\text{raw}} / [1 + 0.02 \times (\text{temperature} - 25)])$ 提升检测精度[13]。模块输出 1 kHz 交流激励信号避免电极极化，通过线性补偿将测量值校准至 25℃标准工况，为换水阈值判定提供依据。

上述传感器构成系统的基础原型感知单元，可完成基础水体参数采集。面向真实水产养殖实际应用场景时，该硬件架构具备良好拓展能力，可进一步选配溶解氧(DO)传感器、pH 传感器接入现有采集电路，以此扩充水体溶解氧、酸碱度指标检测功能，完善水环境多维参数感知能力，满足实际养殖环境更加全面的监测需求。

2.2.3. 换水执行机构

执行机构接收主控指令实现水体换水，由继电器与双水泵构成，兼具电路防护与分区作业能力。

核心配置：选用 5 V 光耦隔离继电器搭配两台 200 L/h 直流水泵，分别负责污水外排、清水补给，完成水体更新。

控制逻辑：继电器识别主控 GPIO 电平信号，高电平吸合驱动水泵启停。

防护设计：光耦隔离阻断水泵启停产生的冲击电流，保护主控电路，保障长期稳定运行[14]。

光耦依靠“电-光-电”转换实现强弱电隔离，阻隔反向电动势与电磁干扰，避免主控异常、传感数据跳变。两路水泵分别完成排污与补水；200 L/h 小流量缓慢换水，防止水温、水质剧烈波动引发田螺应激死亡。

在面向实际养殖场景拓展应用时，采用小功率水泵作为喷射增氧执行单元，通过水泵将水体提升至一定高度后回落，增大水体与空气接触面积，实现水体喷射增氧功能，可配合溶解氧检测结果完成增氧调控。通过水泵而不用专用增氧机增氧，既可以做到设备部件的通用、便于维护，又可以降低成本。

2.2.4. 配套辅助硬件

辅助硬件保障系统稳定运行、适配户外环境并直观反馈工况。

供电模块：采用 5 V/2 A 电源适配器，控制主板与水泵独立供电，避免大功率负载干扰传感信号采集。

防护模块：配备 IP66 防水 ABS 外壳，实现电路板、接线端子防水、防尘、防腐蚀，适配露天塘口安装。

状态提示模块：搭载红绿双色 LED 指示灯，分别表征系统正常运行、水环境超标故障。

独立双路供电降低电源纹波，保障温度、TDS 微弱信号稳定采集；防水外壳抵御水汽腐蚀。双色 LED 由 GPIO 驱动，红灯点亮同步触发云端预警，便于养殖户现场快速排查超标故障，降低巡检压力。

硬件成本约 85 元，量产预期定价 300~400 元。同类高端设备定价数千至万元，本系统填补低价位多功能设备空白。传统人工处置异常需数小时，本系统响应缩短至秒级，高温季节可及时换水，减少因水质恶化导致的批量死亡，直接降低养殖损失。

2.3. 系统软件程序设计

系统软件基于 Arduino IDE 开发，配置 ESP8266 开发板支持包，导入 OneWire、DallasTemperature、ESP8266WIFI、ESP8266WebServer、Blynk 等类库。程序采用模块化设计[15]，划分为初始化模块、主循环运行模块、异常处理模块，并搭配双终端远程交互功能，逻辑清晰、稳定性强。

2.3.1. 程序初始化模块

设备上电自动执行初始化，核心流程：

流程一：配置 WIFI 参数并接入网络，建立无线传输通道；

流程二：分配传感器引脚，定义所有 GPIO 引脚输入输出模式；

流程三：启动本地 Web 服务器，完成 Blynk 云端设备绑定与通信对接；

流程四：设定田螺养殖水环境阈值：水温 15~30℃、TDS 上限 500 ppm [3] [4]。

2.3.2. 主循环运行模块

系统以 30 秒为周期循环执行采集、判定、调控、上传流程：

数据采集：每 30 s 读取水温、原始 TDS 数据，通过温度补偿完成数据校正；

阈值判定：对比实测参数与预设阈值，判断水体是否超标；

自动调控：水温、TDS 超标启动水泵换水；参数回落至安全区间延时 60 s 停机，防止小幅波动造成设备频繁启停；

数据上传：将校正后的环境参数、水泵状态推送至 Web 终端与 Blynk 云端，刷新可视化图表。

2.3.3. 异常处理模块

针对户外无人值守场景设置多重防护机制：

传感器故障防护：连续三次读取到无效温度(DS18B20 返回-127℃)判定传感器故障，切断水泵并推送报警；

网络异常防护：每 10 分钟检测 WIFI 状态，断连后自动重连，保障远程监控可用；

超标超时防护：指标超标持续 30 min 未恢复，云端推送预警消息，提醒人工干预。

2.3.4. 远程交互终端设计

系统搭建双终端交互体系，兼顾移动端远程管控与局域网本地调控，双重保障运维便捷性：

Blynk 手机 APP 终端：通过虚拟引脚绑定数据与控制指令，配置数值显示器、历史曲线控件，可实时查看水温、TDS 数据，追溯 24 小时环境变化规律[6] [15]；搭载手动控泵按钮，手动操作优先级高于自动调控逻辑，支持人工干预设备运行。

本地 Web 终端：由 ESP8266 自建轻量化服务器，页面每 3 秒自动刷新，实时展示水环境参数、设备运行状态，集成网页手动控制功能，无移动网络场景下可通过局域网本地访问调控，人机交互界面如图 2 所示。



Figure 2. Human-machine interface of system Web interactive terminal

图 2. 系统 Web 交互终端人机界面

2.4. 自动调控逻辑流程

系统采用水温、水质双并行自动调控子系统，搭配防震荡、防应激优化逻辑，同时兼容人工远程干预，实现养殖水体环境的精细化、稳定化管控。

2.4.1. 水温自动调控子系统

本子系统针对水体温度完成采集与换水调控，具体规则如下：

采集周期：每 30 秒完成一次水温数据采集与校正；

调控触发：水温高于 30℃或低于 15℃，持续启动双水泵换水作业；

停止逻辑：水温回落至 15~28℃田螺最优养殖区间后，延时 60 秒关停水泵，缓解水温骤变引发的田螺应激反应；

故障防护：传感器数据异常时，立即终止换水作业并推送报警信息，避免无效运行。

2.4.2. 水质自动调控子系统

本子系统以 TDS 参数为核心依据完成水质自动换水，具体规则如下：

检测标准：以温度补偿后的 TDS 数值为判定依据，安全阈值设定为≤500 ppm；

调控逻辑：TDS 数值超过 500 ppm 时启动换水，直至数值降至 450 ppm 以下停止作业，预留安全冗余区间；

防震荡机制：设置两次换水操作最小间隔 5 分钟，杜绝频繁换水破坏水体微生物群落结构，稳定养殖生态环境。

2.4.3. 人机协同管控机制

Web 局域网终端与 Blynk 手机 APP 终端同步开放手动控制权限，养殖户可实时查看养殖环境数据，根据塘口实际养殖工况，手动启停水泵、干预自动调控流程。系统“自动调控为主、人工辅助为辅”的管控模式[6]，既保障常态化智能化运维，又可应对特殊养殖场景需求，提升系统适配性。

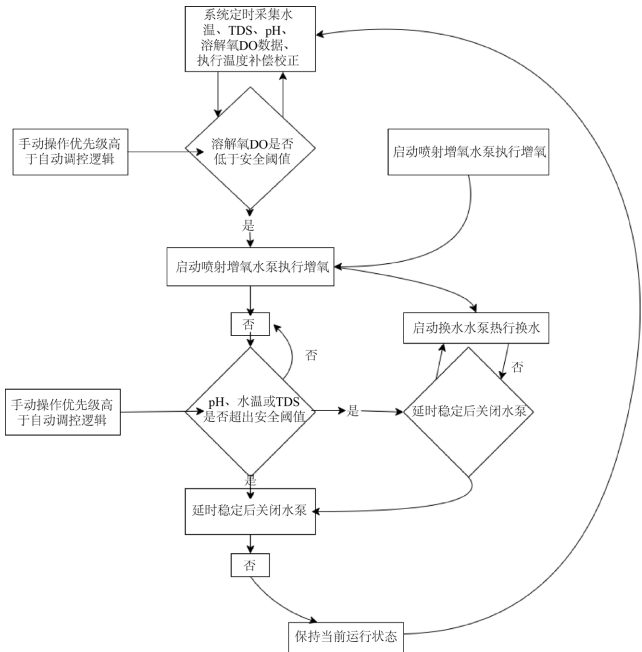


Figure 3. Flow chart of system automatic regulation logic
图 3. 系统自动调控逻辑流程图

注：本流程图包含原型样机已实现功能与模型模拟协同调控方案。实物样机硬件仅搭载水温、TDS 传感器完成实测采集与换水控制；溶解氧 DO、pH 并未采用实体传感器检测，而是通过水环境机理数值模拟模型推演参数演变，以模型输出的计时阈值参与系统多策略协同判断，喷射增氧水泵的控制逻辑已完成设计。

基于拓展后多维度输入向量(实测温度、TDS，数值模拟输出 pH、溶解氧)，系统可构建多策略协同控制逻辑：当模型推演判定溶解氧水平逼近危险阈值时，优先启动喷射增氧水泵开展增氧作业；当模型推演得到 pH 偏离合理区间，或是实测固体杂质、水温、TDS 指标超标时，启动换水水泵执行换水操作。上述多条件协同判断逻辑已在控制器内完成部署；基础原型样机依靠“实测参数 + 数值模拟计时”共同完成调控，硬件预留接口，后续可加装 pH、溶解氧实体传感器，切换为基于传感器实测数据的完整控制模式，对应的拓展后完整控制流程如图 3 所示。

2.4.4. 水体溶解氧浓度、pH 值的数值模拟

由于溶解氧浓度传感器、pH 值传感器价格较贵，直接影响系统成本。事实上养殖过程只需要水体溶解氧浓度、pH 值达标即可，不需要精确测量，所以提出了一种不需要真实传感器的数值模拟方法应用于自动调控逻辑，相关水化学基础理论参考《水环境化学》教材[16]。

在一定量的水体中，忽略光合作用和其他微生物的代谢，溶解氧浓度与时间的关系可由以下公式描述：

$$DO(t) = DO_{\text{sat}}(T) - \frac{m \cdot R(T)}{V} \times t$$

其中：

t ：时间(小时，h)；

$DO(t)$ ： t 时刻的溶解氧浓度(mg/L)；

$DO_{\text{sat}}(T)$ ：温度 T 下的饱和溶解氧浓度(mg/L)；

m ：田螺鲜重(kg)；

V ：水体体积(L)；

$R(T)$ ：田螺的比耗氧速率，即在温度 T 下，每千克鲜重田螺每小时的耗氧量(单位： $\text{mg O}_2/(\text{kg} \cdot \text{h})$)。

饱和溶解氧是模型的关键输入参数，本研究选用基于亨利定律与经验修正得到的 Benson-Krause 经验方程进行计算，该方程计算精度较高，适用温度范围 $0 \sim 40^\circ\text{C}$ ，能够覆盖田螺养殖的常见水温区间，其具体数学表达形式如下：

$$\ln(DO_{\text{sat}}) = -139.34411 + \frac{157570.1}{T + 273.15} - \frac{66423080}{(T + 273.15)^2} + \frac{12438000000}{(T + 273.15)^3} - \frac{8621949000000}{(T + 273.15)^4}$$

田螺比耗氧速率会随水体温度发生明显改变，耗氧率随温度升高呈指数增长，本文采用 Q_{10} 温度系数模型对该参数做温度修正，温度每升高 10°C ，生物代谢速率近似成倍变化，其计算表达式如下：

$$R(T) = R_{20} \cdot Q_{10}^{(T-20)/10}$$

R_{20} ：在 20°C 基准温度下，该物种的比耗氧速率(需实验标定)。根据相近物种(铜锈环棱螺)数据回推， R_{20} 大致在 $60 \sim 100 \text{ mg O}_2/(\text{kg} \text{ 鲜重} \cdot \text{h})$ 区间。

Q_{10} ：温度系数，无脊椎动物通常取 $1.8 \sim 2.5$ ，保守估算可取 2.0 。

将饱和溶解氧以及经过温度修正的比耗氧速率代入上述溶解氧动力学公式，就可以求解得到溶解氧下降至田螺致死临界浓度(DO 降至 1.5 mg/L)对应的致死临界时间，系统可依据该时间阈值提前启动增氧

或者换水操作，经整理变形后得到致死临界时间的计算表达式如下：

$$t_{\text{critical}} = \frac{[\text{DO}_{\text{sat}}(T) - 1.5] \cdot V}{m \cdot R(T)}$$

这样可以估算出增氧装置启动时间间隔。同理，可建立 pH 值与时间的变化关系的经验公式。暂不考虑微生物如硝化细菌的作业，水体的 pH 值下降主要由田螺呼吸作用产生二氧化碳造成。

首先计算养殖水体中不断积累的 CO_2 摩尔浓度，计算公式如下：

$$\Delta C(t) = \frac{m \cdot R(T)}{V \times 32000} \times t$$

$\Delta C(t)$ ：t 时刻积累的 CO_2 摩尔浓度(mol/L)。

m：田螺总质量(kg)。

V：水体体积(L)。

t：时间(小时 h)。

结合水体碳酸解离平衡关系，进一步得到 pH 随二氧化碳累积的演化公式：

$$\text{pH}(t) = \text{pH}_0 - \log_{10} \left(1 + \frac{\Delta C(t)}{C_0} \right)$$

pH_0 ：水体初始 pH 值(可通过 pH 计直接测得)。

C_0 ：初始时刻水体中游离碳酸(H_2CO_3^*)的摩尔浓度(mol/L)，由以下公式求出：

$$C_0 = \frac{A \times 10^{-\text{pH}_0}}{K_1(T)}$$

其中：

A：水体总碱度(mol/L)。若您有碱度试剂盒测得的是 mg/L CaCO_3 ，则除以 50,000 即可换算为 mol/L (例如：100 mg/L $\text{CaCO}_3 \div 50,000 = 0.002$ mol/L)。

$K_1(T)$ ：碳酸的一级解离常数(mol/L)，只随温度变化。25℃时约为 4.45×10^{-7} 。不同温度下可用公式 $pK_1 = 6.35 - 0.0014 \times (T - 25)$ ，则 $K_1 = 10^{-pK_1}$ 。

这样可以田螺适应生长的 pH 值区间 5.5~7.5 推导出换水的时间间隔。

$$t_{\text{critical}} = (10^{\text{pH}_0 - 5.5} - 1) \cdot C_0 \frac{32000V}{m \cdot R(T)}$$

2.5. 系统性能验证方案

为检验系统采集、无线传输、自动调控综合性能，在实验室搭建田螺模拟养殖水环境开展连续测试。将传感器置于模拟水体，硬件接线完成后接入局域网，Web 与 Blynk 同步观测数据，系统每 30 s 完成一轮采集与逻辑判定。

整机连续测试表明 WIFI 连接稳定，数据传输延迟控制在 1 s 以内，无误报警；温、质超标扰动实验中，系统 1 s 内识别超标并启动换水，水温恢复耗时约 8 min，TDS 达标耗时约 5 min，阈值判断、水泵调控响应准确，满足塘口无人值守监测需求。系统硬件简易，元器件成本低[15] [7]，具备向不同养殖场景拓展的潜力。

3. 结果

本次完成基于 ESP8266 的田螺养殖智能监控系统全套软硬件一体化设计，各硬件模块、嵌入式程序、

通信链路、远程交互终端均可稳定对接、协同联动，完整实现水体参数采集、自动换水调控、远程监测预警全部预设功能，分条目说明系统设计成果如下：

四层物联网架构软硬件匹配成功：感知、控制、通信、交互四层层级逻辑打通，DS18B20、TDS 传感器采集的环境信号可稳定传输至 ESP8266 主控；主板依托自带 WIFI 完成双向数据传输，环境数据同步推送至 Web 网页与手机 APP 终端，远程下发的手动控制指令也可无延迟传回主控执行，四层架构各单元数据交互通畅，无信号中断、指令丢失问题。

全部硬件模块化电路连通可靠：主控、传感器、继电器水泵、辅助供电与防护部件接线适配无冲突，DS18B20 配套 4.7 kΩ 上拉电阻、TDS 模拟信号接入引脚的电路设计运行稳定；光耦隔离继电器有效隔离水泵电流冲击，独立 5 V 供电方案消除大功率负载对传感采集的干扰；IP66 防水外壳、双色状态指示灯可完整配套组装，整套硬件可形成一体化监测控制终端。

嵌入式软件与硬件驱动适配完善：基于 Arduino IDE 开发的模块化程序可正常调用各类功能库，传感器数据采集、温度补偿运算、阈值对比、水泵延时关闭、换水间隔防震荡逻辑均可正常执行；WIFI 定时检测重连、传感器故障识别、超标超时报警等异常防护机制运行有效，软硬件协同控制逻辑无逻辑冲突、误触发现象。

双远程交互终端功能完整打通：ESP8266 本地 Web 服务器正常运行，局域网内可实时刷新数据、手动操控水泵；Blynk 手机 APP 终端可同步展示温度传感器、TDS 实时数值，手动控泵指令优先级高于自动程序，指标长期超标时手机端预警推送正常，本地、远程两套人机交互渠道均可独立稳定使用。

模拟测试验证系统性能达标且经济适配性良好：搭建模拟养殖水体完成 3 小时连续闭环整机测试，系统无卡顿、WIFI 无断开、无错误报警，数据传输延迟低于 1 秒，参数判断与换水调控响应精准，能够实现全天候无人值守管控；硬件物料总成本低，规模化量产定价低，相比高价专业水产设备大幅降低智能化改造投入，适配本地中小型田螺散户使用，推广价值突出，具备良好拓展性与场景适配能力。

该设计成果解决传统田螺养殖人工依赖度高、水质管控滞后、智能设备价格昂贵等痛点，依靠一体化物联网方案精准维持田螺适宜生存水环境，减少人工投入与养殖损耗。系统组装简单、操作门槛低，无需专业运维知识即可上手使用，既适用于稻田养螺、土塘精养常规模式，也可拓展应用于集约化容器恒温养殖，为中小规模田螺养殖户智能化升级提供成熟、可落地的成套软硬件设计方案，对特色淡水养殖智慧化改造具备实用参考价值。

4. 实验及讨论

4.1. 实验条件和结果

4.1.1. 实验条件与设计

在实验室环境下，系统连续运行 3 小时。养殖水箱注入自来水并铺设底泥，水温维持 25℃。ESP8266 连接 WIFI，Web 与 Blynk APP 同时在线监控。温度与 TDS 传感器置于水箱中部，水泵通过继电器控制。

为验证系统对异常的自处理能力，第 1 小时加入热水使水温升至 32℃，观察系统检测、响应及恢复至正常温度的时间；第 2 小时加入粉笔灰模拟杂质增多，观察系统对 TDS 值变化的响应及自动换水过程。

4.1.2. 实验结果

连续运行 3 小时测试中，系统响应延迟 <1 秒，WIFI 零断连，误报警率为 0%，温度与 TDS 数据采集正常，Web 与 APP 同步刷新，运行稳定。

升温实验中，水温升至 32℃后，系统 1 秒内检测超阈值并启动换水，约 8 分钟降至 25℃后自动停止，具体水温变化数据见表 1，其随时间的变化趋势如图 4 所示，验证了温度异常响应与自动降温能力。

Table 1. Summary of water temperature change data in temperature-rising experiment
表 1. 升温实验水温随时间变化数据汇总

时间(s)	温度(℃)	备注
0	17	初始水温
30	17	开始加热
60	20	升温中
90	24	升温中
120	28	升温中
150	32	峰值
230	31	降温
310	30	降温
390	28	降温
510	26	降温
630	25	结束

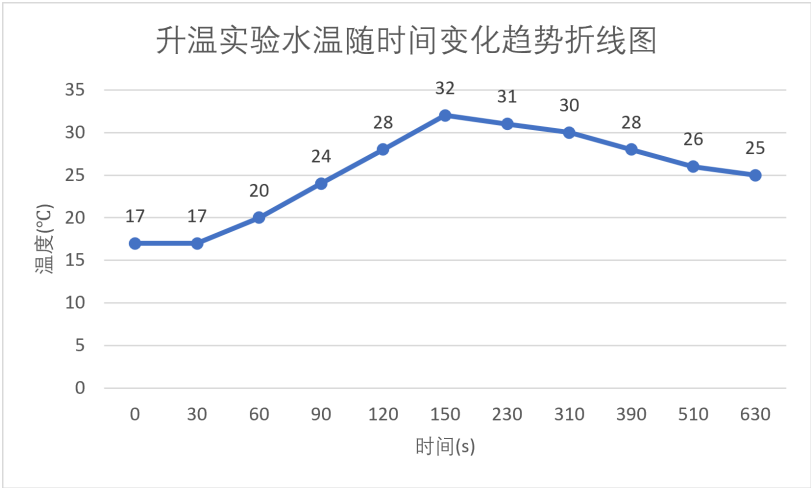


Figure 4. Variation curve of water temperature with time in heating experiment
图 4. 升温实验水温随时间变化曲线

杂质实验中，加入粉笔灰使 TDS 超阈值，系统 1 秒内检测异常并启动换水，约 5 分钟恢复至正常范围后停止，具体 TDS 变化数据见表 2，其随时间的变化趋势如图 5 所示，验证了水质变化检测与自动处理能力。

Table 2. Summary of TDS change data in impurity experiment
表 2. 杂质实验 TDS 随时间变化数据汇总

时间(s)	TDS (ppm)	备注
0	310	初始值
30	310	加粉笔灰
60	365	快速上升

续表

90	425	快速上升
120	488	快速上升
150	525	峰值
240	475	下降
330	445	结束

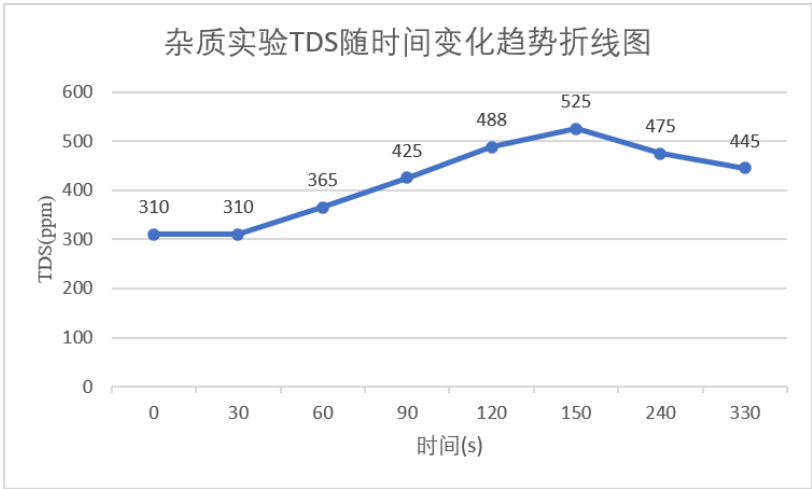


Figure 5. Variation curve of TDS with time in impurity experiment
图 5. 杂质实验 TDS 随时间变化曲线

综上，本系统可实现养殖环境实时监测与温度、水质异常自动调控，具备一定智能化管理能力，满足田螺养殖环境监测与调控基本需求。

4.2. 大型水塘养殖田螺时控制系统的使用

大型水塘因面积大、水体深，不同位置温湿度与水质存在差异，单点监测无法代表全塘状况。部署时需在水塘不同区域分别安装传感器，各点数据统一回传控制单元综合判断，任一监测点超标即触发换水，防止局部恶化扩散。

同时，仅靠换水改善整体水质效率较低，搭配水循环装置可在非换水时段定期启动，促进塘水流动混合，使各区域水质趋于均衡，提高监测代表性及调控准确性。扩展时只需增加传感器和执行器，核心主板与程序无需改动，系统场景适应性良好。

4.3. 集约化小型容器养殖时控制系统的使用

每个容器独立配备传感器和执行器，多个容器共用一套控制单元，采用 1 对多模式，即一个控制单元接收多路传感器信号、控制多路执行器。可加装电加热装置，确保冬季暖棚内水温适宜生长。

该方式下，单个容器体积小、养殖密度高，缓冲能力弱，需独立监测与调控。控制单元分时快速轮询各容器传感器，并分别控制对应执行器，互不干扰，显著降低单容器硬件成本，便于集中管理。

电加热装置可使冬季水温维持适宜范围，突破季节限制，实现周年连续养殖，提高设施利用率与综合产出，系统硬件接线原理如图 6 所示，系统硬件实物如图 7 所示。

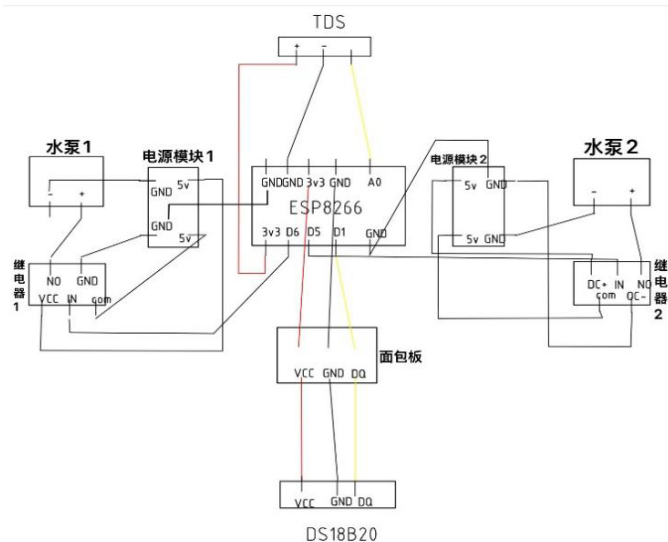


Figure 6. Schematic diagram of system hardware wiring

图 6. 系统硬件接线原理图

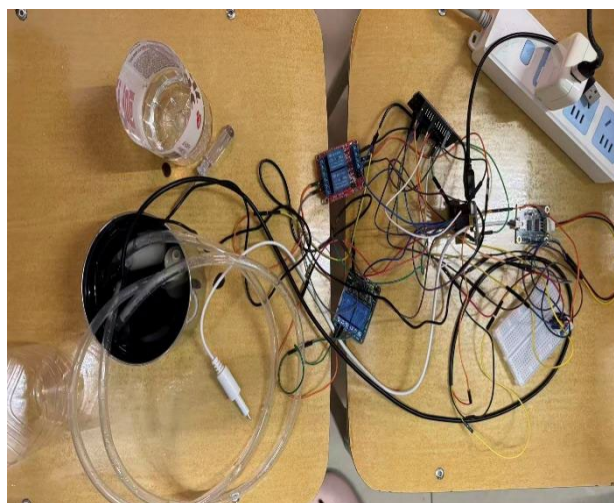


Figure 7. Physical diagram of system hardware

图 7. 系统硬件实物图

5. 结论

当前国内田螺养殖以散户粗放模式为主，人工管理导致劳动力不足、水质调控不精准、死亡损耗高等问题突出。现有水产智能设备与基层需求脱节，行业缺乏统一标准，迫切需要低成本智能化设备推动养殖升级。

本文以 ESP8266 为核心搭建四层物联网水质检测与控制系统，可自动采集水温与 TDS 数据，依据设定阈值自动换水，并支持手机 APP 与本地网页双渠道监控及异常报警。实验室连续测试表明，系统运行稳定、硬件成本低廉，适合中小型养殖户使用。

系统拓展性强，可适配多种场景：大面积露天池塘可加装多组传感器协同监测，配合水循环设备均衡水质；集约化室内养殖可用单主控管控多单元，加装加热装置后可在冬季温室维持适宜温度。控制器已完成溶解氧、pH 参数的协同调控逻辑设计，受成本限制，样机采用水环境模型的数值模拟估算值替代

实体传感器的实测数据完成调控；硬件架构同时保留拓展接口，可外接溶解氧、pH 传感器以及喷射增氧机构，实现基于实测数据的多参数协同调控，进一步适配真实田螺养殖场景。

综上，该系统改善了传统养殖依赖人力与水环境调节滞后的不足，既降低死亡损耗，又大幅减少人工成本，为田螺养殖数字化转型提供高性价比方案，对淡水水产高质量可持续发展具有实际应用价值。

基金项目

本研究由天津市大学生创新创业训练计划项目资助；项目编号：202510066130；项目名称：集约化水产养殖的智能水管理系统。

参考文献

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2025.
- [2] 市农业农村委印发实施《天津市加快农业农村现代化“十五五”规划》[EB/OL]. https://nyncj.tj.gov.cn/SY0/XWDT152013/XYDT152014/202606/t20260611_7316524.html, 2026-06-11.
- [3] 罗文源, 曾家家. 中华圆田螺养殖技术要点[J]. 养殖与饲料, 2025, 24(4): 49-51.
- [4] 柳州市渔业技术推广站. 螺的养殖模式和养殖技术(三)田螺池塘养殖技术[R/OL]. http://nyncj.liuzhou.gov.cn/wsbs/ggfw/syjs/sccml/202008/t20200828_1987434.shtml, 2019-09-29.
- [5] 宦娟, 吴帆, 曹伟建, 等. 基于窄带物联网的养殖塘水质监测系统研制[J]. 农业工程学报, 2019, 35(8): 252-261.
- [6] Chen, C.H., Wu, Y.C., Zhang, J.X. and Chen, Y. (2022) IoT-Based Fish Farm Water Quality Monitoring System. *Sensors*, **22**, Article 6700. <https://doi.org/10.3390/s22176700>
- [7] Hairol, K.N., Adnan, R., Samad, A.M. and Ahmat Ruslan, F. (2018) Aquaculture Monitoring System Using Arduino Mega for Automated Fish Pond System Application. 2018 *IEEE Conference on Systems, Process and Control (ICSPC)*, Melaka, 14-15 December 2018, 218-223. <https://doi.org/10.1109/spc.2018.8704133>
- [8] Lévano-Rodriguez, D., Gonzales-Garay, J.H., Lévano-Casildo, M. and López-Gonzales, J.L. (2025) Diseño de una boya multiparamétrica autónoma con energía fotovoltaica y comunicación remota basada en IoT para entornos de acuicultura. *Revista Científica de Sistemas e Informática*, **5**, e866. <https://doi.org/10.51252/rcsi.v5i1.866>
- [9] 林聪, 蒋峰, 李茂, 等. 基于异构网的野外池塘水产养殖云端水质监控系统[J]. 渔业现代化, 2021, 48(2): 61-69.
- [10] 邹振涛, 杨宏, 李宏, 等. 水产养殖实时监控系统设计[J]. 农机化研究, 2011, 33(9): 124-127.
- [11] Wan, S., Zhao, K., Lu, Z., Li, J., Lu, T. and Wang, H. (2022) A Modularized IoT Monitoring System with Edge-Computing for Aquaponics. *Sensors*, **22**, Article 9260. <https://doi.org/10.3390/s22239260>
- [12] 汪洋, 吕石祥, 肖茂华, 等. 面向鱼塘养殖的水质检测装置研究与性能试验[J]. 黑龙江粮食, 2022(4): 35-37.
- [13] 赵小欢. 基于 WSN 的水产养殖水质在线监测系统的设计[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2014.
- [14] 李河清. 兼容光耦的电容隔离栅极驱动器电路设计[J]. 科学技术创新, 2025(19): 1-4.
- [15] 杨颖. 基于 STM32 的罗非鱼智能养殖系统设计[J]. 乡村科技, 2025, 16(21): 154-158.
- [16] 张倩, 李孟. 水环境化学[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2018.