

基于AIoT的智能水表水质多参数检测系统设计

刘伟炜¹, 张 慧¹, 杨 鑫¹, 胡 峥¹, 王 琦¹, 丁 硕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7月19日; 录用日期: 2026年8月19日; 发布日期: 2026年8月27日

摘 要

随着智慧城市建设的深入推进, 传统水表面单一计量功能的局限性日益凸显, 无法满足现代水务管理对水质实时监测、设备定位溯源、户外持续供电等多元化需求。针对上述问题, 本论文设计并实现了一套基于AIoT的智能水表水质多参数检测系统。系统以ESP32芯片为核心主控, 集成pH、浊度、电导率、温度等多参数水质检测传感器, 采用光伏电源与锂电池相结合的供电方案, 搭载GPS定位模块, 通过WiFi/4G无线通信技术实现设备端、云平台与手机APP的数据双向传输。本论文完成了系统总体架构设计、硬件电路设计与模块选型、软件程序开发以及防水密封结构设计, 并进行了实验室与户外环境的联调测试。测试结果表明, 系统能够实现水质参数的实时精准采集、数据无线传输、设备定位、超限报警等功能, 水质检测精度符合民用水务监测标准, 光伏供电系统可在无市电环境下维持设备持续运行, 满足智慧水务精细化管理需求, 具有重要的工程应用价值。

关键词

AIoT, ESP32, 光伏供电, 智能水表, 水质多参数检测, GPS定位

Design of Multi-Parameter Detection and Treatment System for Water Quality Based on AIoT Smart Water Meters

Weiwei Liu¹, Hui Zhang¹, Xin Yang¹, Zheng Hu¹, Qi Wang¹, Shuo Ding², 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: July 19, 2026; accepted: August 19, 2026; published: August 27, 2026

文章引用: 刘伟炜, 张慧, 杨鑫, 胡峥, 王琦, 丁硕, 蒋善超, 黄公达, 袁鹏飞. 基于 AIoT 的智能水表水质多参数检测系统设计[J]. 软件工程与应用, 2026, 15(4): 602-613. DOI: 10.12677/sea.2026.154056

Abstract

With the in-depth advancement of smart city construction, the limitations of traditional water meters with a single metering function have become increasingly prominent, failing to meet the diversified demands of modern water services management, including real-time water quality monitoring, equipment location and traceability, and continuous outdoor power supply. To address the above issues, this paper designs and implements an AIoT-based multi-parameter water quality detection and processing system for smart water meters. Taking the ESP32 chip as the core main controller, the system integrates multi-parameter water quality sensors for pH, turbidity, conductivity, temperature and other indicators. It adopts a hybrid power supply scheme combining photovoltaic panels and lithium batteries, and is equipped with a GPS positioning module. Bidirectional data transmission among terminal devices, cloud platform and mobile APP is realized via WiFi/4G wireless communication technologies. This paper completes the design of the overall system architecture, hardware circuit design and module selection, software programming development, as well as waterproof and sealing structural design. Joint debugging tests are carried out under laboratory and outdoor environments. The test results demonstrate that the system can realize real-time and accurate collection of water quality parameters, wireless data transmission, equipment positioning, over-limit alarm and other functions. The detection accuracy of water quality satisfies the monitoring standards for civil water services. The photovoltaic power supply system enables continuous operation of the equipment without mains electricity supply. The proposed system meets the requirements of refined management in smart water services and possesses great practical engineering application value.

Keywords

AIoT, ESP32, Photovoltaic Power Supply, Smart Water Meters, Multi-Parameter Water Quality Detection, GPS Positioning

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

水资源是支撑人类生产生活与社会经济可持续发展的核心战略资源，智慧水务精细化管理是智慧城市建设的重要内容[1][2]。伴随城镇化快速发展，城市供水管网规模持续扩大，传统水务管理弊端日益突出。传统机械水表仅具备用水量计量功能，缺失水质监测能力，无法及时识别管网污染、二次供水超标等安全隐患；户外水表市电布线供电方式施工成本高、适配性差，偏远区域供电难题显著；设备布局分散，人工巡检效率低、定位精度不足，设备故障、丢失排查滞后[3][4]。同时，传统定点抽样水质监测实时性差、覆盖范围有限，难以实现管网全域动态监测，无法满足现代智慧水务发展需求。

随着居民生活品质提升，饮用水安全备受重视，对水质 pH、浊度、电导率、温度等关键参数的实时监测需求愈发迫切。为实现水质、水量一体化远程监管，快速排查管网异常、降低运维成本、提升管理效能，水务行业亟需智能化技术赋能[5]。AIoT 技术融合物联网感知与智能数据分析优势，结合高集成度、低功耗的 ESP32 主控芯片，以及光伏储能、多传感器融合、卫星定位、防水密封等成熟技术，为多功能户外智能水务监测设备研发提供了可靠技术支撑[6]。

目前国内外在智能水表与水质监测领域已取得一定研究成果，但仍存在诸多不足。现有高精度检测

设备体积大、成本高，难以集成于民用水表，而小型监测终端检测稳定性与精度较差；户外监测设备供电续航有限、运维繁琐，且普遍缺失精准定位与智能预警功能，数据共享能力不足，难以实现管网全域精细化水务监管。

针对上述痛点，本文设计一款基于 AIoT 的智能水表水质多参数检测系统。系统以 ESP32 为核心，集成水质多参数检测、GPS 定位、光伏储能供电与无线通信模块，搭建四层系统架构。测试结果表明，该系统能够实现水质参数的实时精准采集、数据无线传输、设备定位、超限报警等功能，水质检测精度符合民用水务监测标准，光伏供电系统可在无市电环境下维持设备持续运行。这为户外低功耗智能监测设备研发及智慧水务精细化管理提供参考，具有良好的理论价值与工程应用前景。

2. 控制系统总体设计

为保障系统设计的科学性与实用性，结合智慧水务户外终端应用场景，本文从功能需求与非功能需求两方面完成系统需求界定。功能层面，系统需集成饮用水多参数水质检测、用水量计量、GPS 设备精准定位、光伏自供电、低功耗无线数据传输、移动端数据交互与异常预警核心功能，可实时采集水温、pH 值、浊度、电导率等关键水质指标，且检测指标符合 GB5749-2022 生活饮用水卫生标准。非功能层面，系统需满足高精度检测、低功耗运行、强环境适应性、高通信可靠性与易部署运维要求。水质检测、温度采集误差控制在行业允许范围内，设备平均工作功耗与休眠功耗适配光伏供电模式；设备具备 IP67 防尘防水能力，可适配户外复杂工况；数据传输丢包率极低，支持断线重连与本地缓存补传，整体设备轻量化、易搭建，适配多场景规模化部署[7][8]。

基于上述需求，本文搭建感知层 - 传输层 - 平台层 - 应用层四层 AIoT 系统总体架构，在 AIoT 平台层嵌入多参数关联异常检测算法，融合 pH、水温、浊度、电导率四类监测指标时序数据，实现水质异常智能甄别，充分发挥系统 AI 赋能能力，完善 AIoT 体系智能化内核。整体架构如图 1 所示。

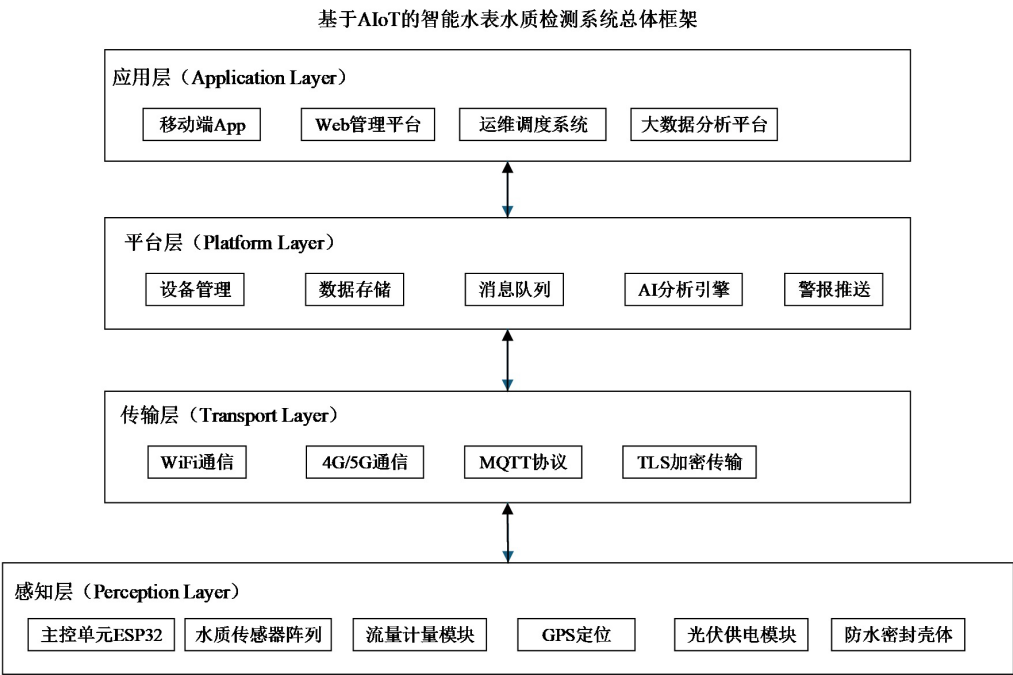


Figure 1. Overall block diagram of the system
图 1. 系统总体框图

本文系统的四层架构贯穿数据采集、传输、智能分析与终端应用全流程，各层级接口标准化、独立性强，具备良好的扩展性与兼容性。感知层以 ESP32 为主控核心，集成各类传感器、定位及光伏供电模块，完成现场数据采集与预处理；传输层依托 WiFi/4G 双模通信与轻量化 MQTT 协议，实现数据双向加密传输；平台层承担数据存储、设备管理、智能分析与异常预警推送功能；应用层通过移动端 APP 与 Web 管理平台，为普通用户及水务运维管理人员提供可视化数据查询、设备定位、运维调度等服务，全方位满足智慧水务精细化监管需求。

3. 硬件模块设计

本文硬件系统采用模块化的设计思路，将整个系统划分为主控模块、水质多参数检测模块、定位模块、光伏供电模块、通信模块以及密封壳体几个部分，各模块之间通过标准化的接口进行连接，便于集成与维护。系统的硬件模块连接示意图如图 2 所示。

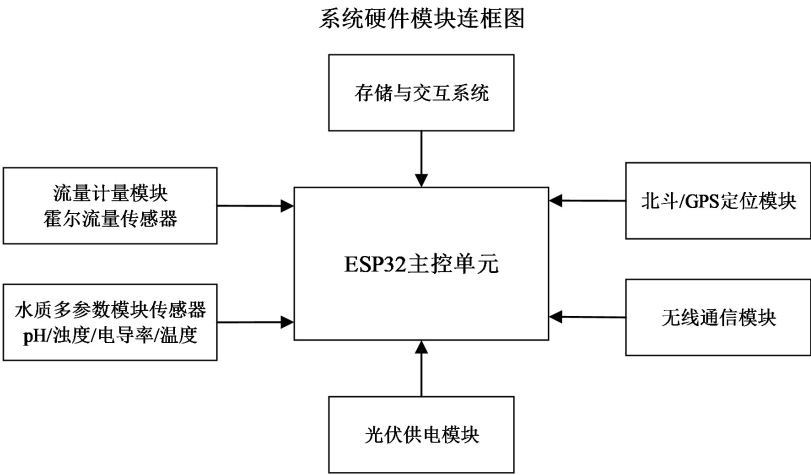


Figure 2. Schematic diagram of system hardware
图 2. 系统硬件示意图

水质多参数检测模块作为本系统的核心单元，集成了水温、电导率、pH、浊度四类核心水质参数检测电路，搭配 GPS 定位模块，实现水质数据的实时采集与地理位置溯源，所有传感器通过模拟 ADC 接口或数字串口与主控连接，保证数据采集的精度与稳定性。其与主控单温 ESP32 引脚连接关系如表 1 所示[9]。

Table 1. Pin connections of water quality parameter detection
表 1. 水质参数检测模块的引脚连接关系

检测参数	ESP32-S3 引脚	通信/输入方式	备注
水温	IO18	ADC 模拟输入	-10℃~+60℃
电导率	IO33, IO26	数字 + 模拟输入	
pH 值	IO36	ADC 模拟输入	0~14
浊度	IO48	模拟输入	
GPS 定位	RXD0, TXD0	UART 串口通信	
COD	可扩展	ADC 模拟输入	5~25 mg/L
氨氮	可扩展	ADC 模拟输入	0.2~2.0 mg/L
亚硝酸盐	可扩展	ADC 模拟输入	0.01~1.5 mg/L

3.1. pH 值检测模块

pH 检测电路用于测量水体的酸碱度，采用 pH 电极传感器，如图 3。



Figure 3. pH detection module
图 3. pH 检测模块

3.2. 浊度检测模块

浊度检测电路用于测量水体的浑浊度，采用光学式浊度传感器，如图 4 所示，通过光散射原理检测水体中的悬浮颗粒含量。



Figure 4. Turbidity detection module
图 4. 浊度检测模块

3.3. 电导率检测模块

电导率检测电路用于测量水体的导电能力，以此判断水体的纯净度与盐度，采用电极式电导率传感器，如图 5 所示。



Figure 5. Conductivity detection module
图 5. 电导率检测模块

3.4. 温度检测模块

水温检测采用模拟式温度传感器，如图 6 所示。



Figure 6. Temperature detection module
图 6. 温度检测模块

3.5. GPS 定位模块设计

GPS 定位模块实现设备的定位功能，为水质监测提供地理位置溯源，将水质数据与地理位置绑定，方便定位污染源头。

3.6. 光伏供电模块设计

本微型光伏供电模块针对低功耗离网设备打造，集成 1 W 单晶硅太阳能板、1000 mAh 3.7 V 锂聚合物电池与微型充放电管理板，可实现光能采集、电能存储、5 V 稳压供电的一体化运作，能根据光照自动切换充放电模式，内置过充、过放等四重安全保护；模块整体仅重 50 g，小巧便携，可依靠太阳能实现自给自足的免维护供电，适配户外物联网传感器、小型户外照明、便携应急充电等各类低功耗离网场景，如图 7 所示。

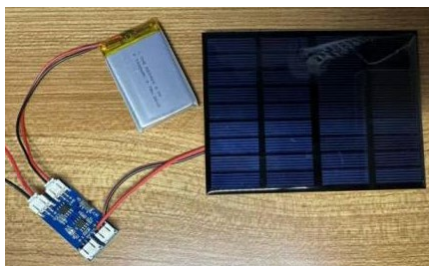


Figure 7. Photovoltaic power supply module
图 7. 光伏供电模块

3.7. 无线通信模块设计

本课题的无线通信采用了模的设计，ESP32 内部集成的 WiFi 模块作为主通信方式，在有 WiFi 覆盖的区域，使用 WiFi 进行数据传输，其速度快、成本低，适合城市小区的应用场景。对于偏远的农村地区，没有 WiFi 覆盖的场景，系统预留了 4 G 模块的扩展接口，支持接入 Air7244 G 模块，实现全网通的数据传输，保证数据的上传[10]。

4. 软件设计

本文系统采用分层解耦的软件架构设计，依托 ThingsCloud 物联网云平台，实现了从终端数据采集、

云端数据处理到应用层交互的全链路智能化管理，其设计框图如图 8 所示[11] [12]。

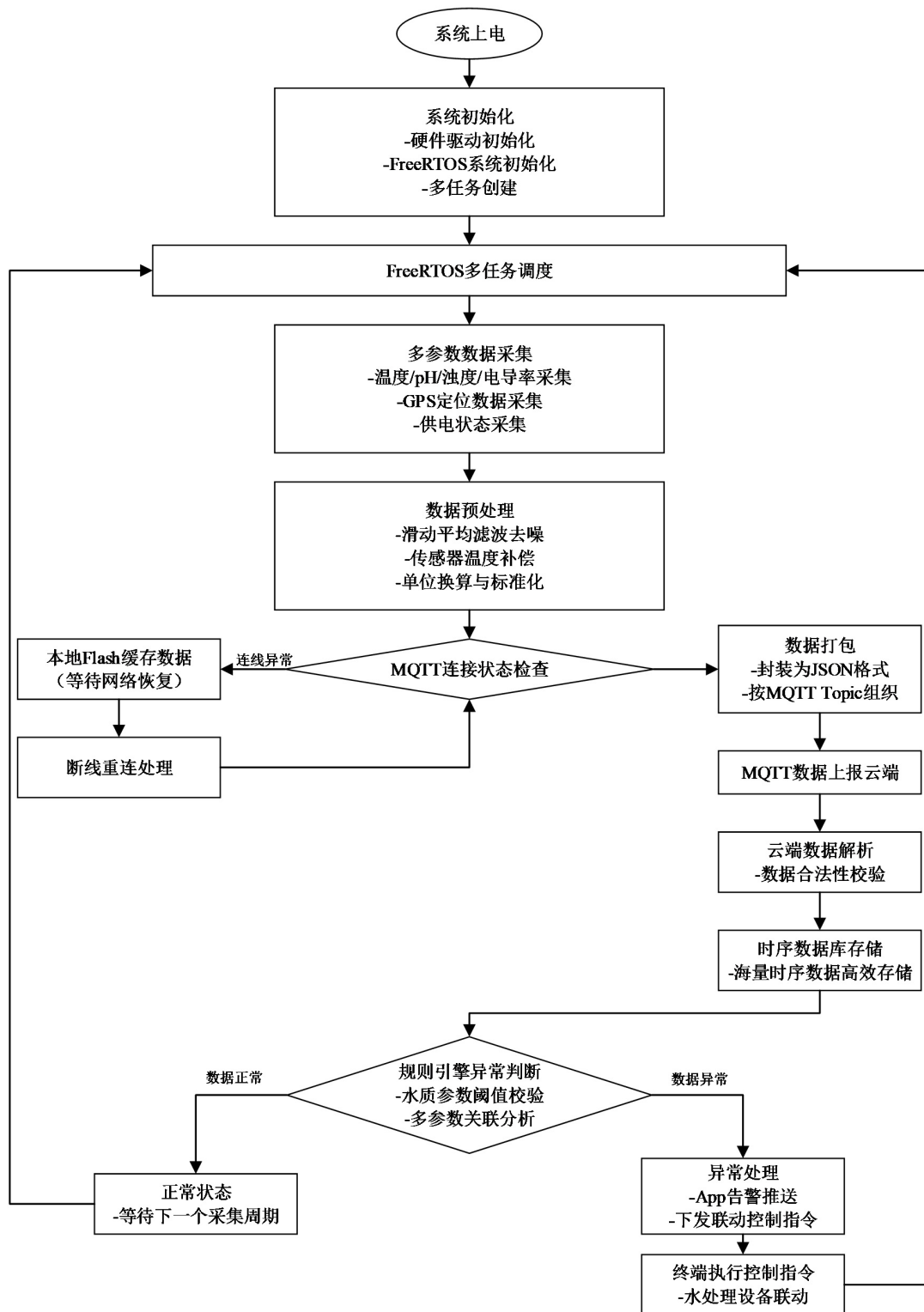


Figure 8. Software flow framework diagram

图 8. 软件流程框架图

4.1. 传感器模块

传感器模块负责环境与设备数据的采集，通过模拟 I2C、串口等接口读取各类传感器的原始数据，并完成初步的解析转换。

(1) 温湿度传感器

核心功能：通过模拟 I2C 总线分别读取温度与湿度的原始数据，完成单位转换，得到摄氏度的温度值与%RH 的湿度值。

```
void get_temp(void)
{
    // 读取温度原始数据
    MX_temp_humi_Write_nByte(0x29,date_buff_temp1,2);
    MX_temp_humi_Read_nByte(0x29,date_buff_temp_humi1,2);
    // 原始值转换为摄氏度，原始值放大了 100 倍
    temp=(date_buff_temp_humi1[0]*256)+date_buff_temp_humi1[1];
    temp=temp/100;
}
void get_humi(void)
{
    // 读取湿度原始数据
    MX_temp_humi_Write_nByte(0x29,date_buff_humi1,2);
    MX_temp_humi_Read_nByte(0x29,date_buff_temp_humi2,2);// 原始值转换为%RH，原始值放大了
100 倍
    humi=(date_buff_temp_humi2[0]*256)+date_buff_temp_humi2[1];
    humi=humi/100;
}
```

(2) 水表传感器

核心功能：通过模拟 I2C 总线读取水表的原始数据，解析得到水表的读数，支持正负流量的判断。

```
void get_WTM(void) {
    // 向水表发送读取指令，读取返回数据
    MX_WTM_Write_nByte(0x29, date_buff_WTM, 4);
    MX_WTM_Read_nByte(0x29, date_buff_WTM_data, 4);
    // 解析水表读数，低字节为小数部分，同时根据标志位判断正负
    WTM=date_buff_WTM_data[2]+ (date_buff_WTM_data[3] / 256.0);
    if (date_buff_WTM_data[1] == 1) WTM = -WTM;
}
```

(3) PH 值

核心功能：基于多点校准算法，将 ADC 采集的原始电压值转换为 PH 值，同时完成量程限幅，保证输出值的有效性。

```
float Calculate_PH_MultiPoint(uint16_t adc_val) {
    float ph = 0.0f;
    // 分段多点校准，适配不同量程的校准系数
```



```

if (adc_val <= 860) { // 高 PH 段校准: 9.18 -> 6.89
    ph = 9.18f + (float)(adc_val - 860) * (-0.007897f);
}
else { // 低 PH 段校准: 6.89 -> 4.0
    ph = 6.89f + (float)(adc_val - 1190) * (-0.004019f);
}
// 量程限幅, 保证 PH 值在有效范围内
if (ph > 14.0f) ph = 14.0f;
if (ph < 0.0f) ph = 0.0f;
return ph;
}

```

(4) 电导率传感器数据解码

核心功能: 解析 EC 传感器返回的串口数据, 提取电导率与温度数据, 更新传感器的状态。

```

void EC_NTC_Decode(uint8_t *pData) {
    if(pData[1] == 0xAA) { // 数据返回包
        // 解析电导率数据, 原始值放大 10 倍
        uint16_t cond_raw = (pData[2] << 8) | pData[3];
        EC_NTC_data.conductivity = cond_raw / 10.0f;
        // 解析温度数据, 原始值放大 100 倍
        uint16_t temp_raw = (pData[4] << 8) | pData[5];
        EC_NTC_data.temperature = temp_raw / 100.0f;
        EC_NTC_data.status = 1;
    }
    else if(pData[0] == 0xAC) { // 状态返回包
        EC_NTC_data.error_code = pData[1];
        EC_NTC_data.status = (pData[1] == 0x00) ? 2 : 0xFF;
    }
}

```

4.2. 上位机界面展示

访问平台官方网站: 打开任意主流浏览器, 在地址栏输入 ThingsCloud 平台官方地址:

<https://www.thingscloud.xyz/>, 按下回车后进入平台官网。跳转至平台控制台与账号身份验证: 在官网首页, 点击页面中的[进入控制台]按钮, 系统将自动跳转至平台的身份登录页面。在登录页面, 平台账号与登录密码, 填写完成后点击[登录]按钮完成身份校验。进入目标项目: 登录成功后, 将进入平台的项目管理列表页, 在列表中找到名为 AIoT 的目标项目, 点击项目名称即可进入项目专属控制台。进入系统监控界面: 项目控制台的左侧导航栏中, 选择[设备管理]选项, 在设备类型列表中找到本课题对应的 AIoT 水表设备类型, 点击该类型下的设备实例, 即可进入本系统的专属监控界面, 如图 9 所示。

进入界面后, 即可查看系统的全部功能: 实时水质参数: 水温、PH 值、浊度、电导率等核心监测数据。设备定位信息: 水表的实时地理位置, 支持运维导航。历史数据曲线: 可查看各参数的历史变化趋势。告警管理: 查看历史告警记录, 配置异常预警规则。



Figure 9. Upper computer interface

图 9. 上位机界面

5. 实物测试及分析

为了验证本系统的功能与性能是否满足设计要求, 我们搭建了测试环境, 对系统的各项指标进行了全面的测试, 包括水质检测精度测试、定位精度测试、供电续航测试, 并进行了实际场景的试点应用。

图 10 为系统内部电路情况。

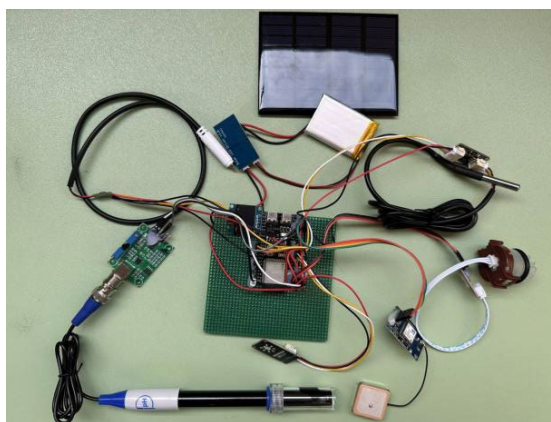


Figure 10. Physical picture of the system

图 10. 系统实物图

水质检测精度是系统的核心性能指标, 为了验证系统的检测精度, 本研究配置了不同浓度的标准测试溶液, 分别使用本课题与标准哈希水质分析仪进行同步检测, 对比两者的检测结果, 验证本系统的检测误差。测试过程及结果示例如图 11 所示。

本次测试的具体操作过程如下: 测试前准备: 准备 pH4.00、6.86、7.20、9.18 标准缓冲溶液, 0.5 NTU、0.8 NTU、5 NTU 标准浊度溶液, 以及 84 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、147 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、245.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 标准电导率溶液, 同时选用已完成校准的哈希 HQ40d 便携式水质分析仪作为标准对照设备, 确保参考数据的准确性。传感器校准: 测试前先对本系统的各传感器进行校准, 使用标准溶液完成 pH、浊度、电导率的两点校准, 消除传感器的初始偏差, 保证测试的基准准确。样本同步测试: 依次将本系统的传感器探头与标准分析仪的探头同时

放入不同浓度的标准测试溶液中,待数据稳定后(等待 2 分钟,确保传感器完成响应),分别记录本系统的检测值与标准仪器的检测值,每个测试样本重复测试 3 次,取平均值作为最终测试结果,减少随机误差的影响。误差统计分析:对比两组测试数据,计算本系统检测值与标准参考值之间的绝对误差与相对误差,验证各项参数的检测精度是否满足设计要求。测试结果如表 2 所示。

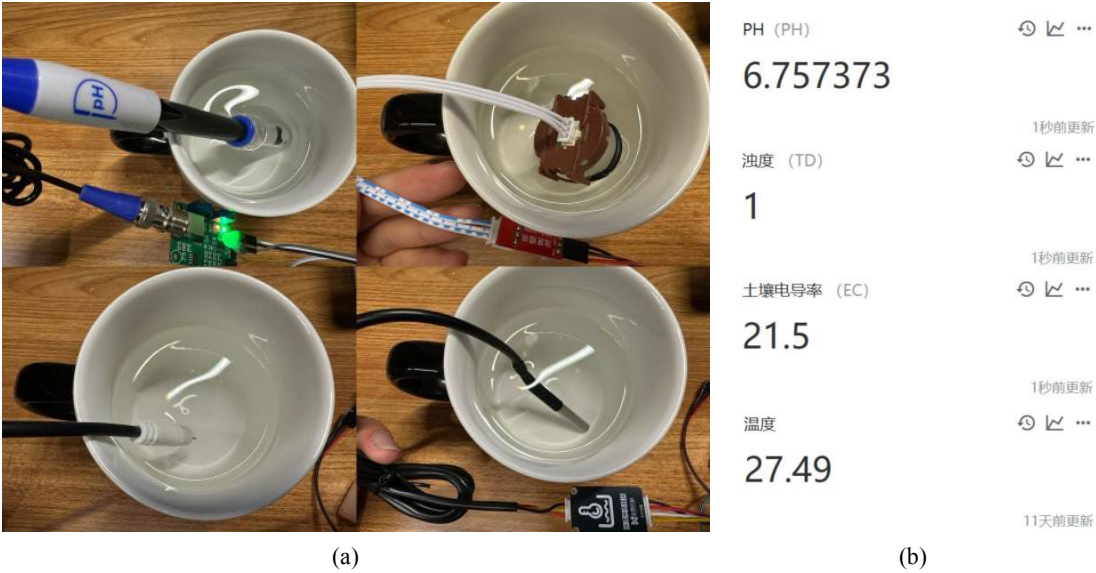


Figure 11. Water quality test; (a) Measured example; (b) Test results
图 11. 水质测试; (a) 实测实例; (b) 测试结果

Table 2. Comparison of test results
表 2. 测试结果对比表

测试参数	标准值	检测值	绝对误差	相对误差
pH 值	4.00	3.98	0.02	0.50%
pH 值	6.86	6.85	0.01	0.15%
pH 值	7.20	7.18	0.02	0.28%
pH 值	9.18	9.16	0.02	0.22%
浊度(NTU)	0.50	0.49	0.01	2.00%
浊度(NTU)	0.80	0.79	0.01	1.25%
浊度(NTU)	5.00	4.97	0.03	0.60%
电导率($\mu\text{S}/\text{cm}$)	84.00	83.70	0.30	0.36%
电导率($\mu\text{S}/\text{cm}$)	147.00	146.60	0.40	0.27%
电导率($\mu\text{S}/\text{cm}$)	245.50	244.80	0.70	0.29%
水温($^{\circ}\text{C}$)	15.00	14.98	0.02	0.13%
水温($^{\circ}\text{C}$)	22.50	22.47	0.03	0.13%
水温($^{\circ}\text{C}$)	30.00	29.96	0.04	0.13%

根据测试结果可知,本系统各项水质参数检测误差都比设计指标小很多,pH 值最大的绝对误差是 0.02,符合设计要求的 ± 0.1 误差范围;浊度最大的绝对误差是 0.03 NTU,也符合设计要求的 ± 0.1 NTU 误

差范围；电导率最大的相对误差是 0.36%，符合设计要求的 $\pm 1\%$ FS 误差范围；水温最大的绝对误差是 0.04°C ，也符合设计要求的 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 误差范围。所有参数的检测精度都符合《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2022)的监测要求，可以给水质监测赋予准确可靠的依据。

6. 结论

针对传统水表功能单一、水质监测能力不足、运维效率低下、供电困难等问题，本文设计了基于 AIoT 的智能水表水质多参数检测系统，主要完成：构建了四层的 AIoT 系统架构，设计了一体化的智能水表终端硬件，集成了 ESP32 主控、多参数水质传感器、GPS 定位模块与光伏供电模块，实现了硬件的小型化与低成本化，同时通过 IP67 的防水设计，保证了系统的环境适应性；开发了端云协同的软件系统，实现了多任务调度，设计了轻量级的 MQTT 通信协议，开发了跨平台的移动端 APP，实现了数据的实时查看、定位导航与报警推送，提升了用户的交互体验；提出了多参数协同的异常预警算法，通过滤波预处理、温度补偿与多参数关联分析，有效提升了检测精度，降低了预警的误报率；通过系统测试与试点应用，验证了系统的性能，系统的水质检测误差均控制在 1% 以内，实现长期的自供电运行，符合《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2022)的监测要求，可以给水质监测赋予准确可靠的依据。

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] 王有位. 基于深度学习的多参数水质检测装置的设计与开发[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 河南农业大学, 2025.
- [2] 代振飞. 基于树莓派的多参数水质监测系统设计[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 山东科技大学, 2023.
- [3] 陈凯. 在线多参数水质检测系统的设计与研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2023.
- [4] Aldhamiri, A. (2026) An Advanced Eco-Solution to Address the Excessive Consumption of Water, Electricity and Towels/Linen at Luxury Hotels/Resorts: An Incentive-Linked Smart Meter System to Influence Consumer Behaviors. *Sustainability*, **18**, Article 2447. <https://doi.org/10.3390/su18052447>
- [5] Torres-Gutierrez, J.L., Castañeda-Miranda, C.L., Martínez-Blanco, M.D.R., Guerrero-Osuna, H.A., Jiménez-Díaz, G., Espinoza-García, G., *et al.* (2026) Development and Implementation of a Smart Water Metering and Monitoring System for Homes with Intermittent Water Supply. *Technologies*, **14**, Article 135. <https://doi.org/10.3390/technologies14020135>
- [6] Li, L., Zhao, D., Sun, W. and Huang, Q. (2025) A Micro Francis Turbine for Smart Water Meter Self-Generation: Study on the Effects of Structural Parameters on Turbine Performance Based on CFD Simulations and Experiments. *Energy*, **328**, Article 135865. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.135865>
- [7] Hajibabaei, M., Oberascher, M., Shahangian, S.A., Gschösser, F. and Sitzenfrei, R. (2025) How Sustainable Is Digitalization in Urban Water Infrastructure? A Life Cycle Assessment of the Implementation of Smart Water Meters. *AQUA—Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, **74**, 677-693. <https://doi.org/10.2166/aqua.2025.032>
- [8] 管理. 基于光谱融合的在线水质多参数检测关键技术研究[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京理工大学, 2021.
- [9] 梁章恒, 高天睿, 张悠蕊, 等. 基于 AIoT 的智能导盲杖系统[J]. 物联网技术, 2026, 16(7): 75-77.
- [10] 李宜赛. 基于光伏建筑一体化技术整合的华北地区乡村住宅性能优化设计研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2025.
- [11] 吴金宇, 张富川, 陈树廷, 等. 轻量级物联网设备的端到端安全通信方案研究[J]. 通讯世界, 2025, 32(11): 42-44.
- [12] 郭哲希, 彭桂力, 贾寅成. 物联-云端的无人车智能环境监测系统设计[J]. 物联网技术, 2025, 15(18): 31-35.