引用本文格式 聂训，黄招娣，黄德昌，等．基于物联网的水肥一体化系统设计[J]．农业工程，2023，13(3)：43-49． DOI：10.19998/j.cnki.2095-1795.2023.03.008． NIE Xun，HUANG Zhaodi，HUANG Dechang，et al. Design of water and fertilizer integration system based on internet of things[J]. Agricultural Engineering，2023，13(3)：43-49.

基于物联网的水肥一体化系统设计

聂 训[1]，黄招娣[2]，黄德昌[3]，章海亮[1]

（1. 华东交通大学电气与自动化工程学院，江西 南昌 330013； 2. 华东交通大学基础实验与工程实践中心，江西 南昌 330013； 3. 华东交通大学信息工程学院，江西 南昌 330013）

摘 要：为实现实时精准调节配肥电导率和酸碱度，提高配比精确度和水肥一体化的远程智能化，设计了基于物联网的水肥一体化管控系统。该系统采用物联网模块思想，针对土壤温湿度、空气温湿度、*EC* 值和 pH 值进行环境信息采集；通过 Zigbee 技术和 NB-IoT 技术实现数据无线传输至云端；采用远程控制继电器控制施肥灌溉区域；利用网络服务器和人机交互界面实现数据的存储和监控。试验结果表明，该系统数据采集准确、数据传输稳定，能实时异常报警，可在灌溉过程中对水肥溶液实现精确配比。该系统在提高产量、节约资源和提升效率等方面具有重要意义。

关键词：水肥一体化；物联网；Zigbee 技术；NB-IoT 技术

中图分类号：S224.2 **文献标识码**：A **文章编号**：2095-1795(2023)03-0043-07

DOI：10.19998/j.cnki.2095-1795.2023.03.008

Design of Water and Fertilizer Integration System Based on Internet of Things

NIE Xun[1]，HUANG Zhaodi[2]，HUANG Dechang[3]，ZHANG Hailiang[1]

（*1. School of Electrical and Automation Engineering，East China Jiaotong University，Nanchang Jiangxi 330013，China*；

2. Basic Experiment and Engineering Practice Center of East China Jiaotong University，Nanchang Jiangxi 330013，China；

3. School of Information Engineering，East China Jiaotong University，Nanchang Jiangxi 330013，China）

Abstract：In order to realize real-time and accurate adjustment of fertilizer conductivity and pH，improve accuracy of proportioning and remote intelligence of water-fertilizer integration，an IoT-based water-fertilizer integration control system was designed. The system adopted IoT module idea to collect environmental information for soil temperature and humidity，air temperature and humidity，*EC* value and pH value. It could realize data wireless transmission to the cloud by Zigbee technology and NB-IoT technology，control fertilizer application and irrigation area by remote control relay，realize data storage and monitoring by web server and human-computer interaction interface. Experimental results showed that the system had accurate data collection，stable data transmission，real-time abnormal alarms，and achieved accurate proportioning of water and fertilizer solutions during irrigation. The system is an important inspiration in improving yield，saving resources and enhancing efficiency.

Keywords：water and fertilizer integration，internet of things，Zigbee technology，NB-IoT technology

0 引言

水肥一体化技术通过计算机控制，将传统的人工施肥和灌溉的培育模式转变成使用机械设备进行自动施肥和灌溉[1]。随着科学技术的发展，自动施肥和灌溉已经成为必然趋势[2]。国外的专家学者较早地研究了水肥一体化技术，国外现代农业设施的智能水平较高，如以色列、西班牙和荷兰等较为发达的国家在较早以前就应用了农田的智能节水灌溉，同时还制定了农田灌溉管理标准[3]。其中最具有代表性的国家是以色列，在这个极度缺水的国家建立了一套全球较为完善的水肥一体化智能滴灌系统，采用该系统能够使水资源得到最大的利用，避免了浪费。

相比于国外，国内的专家学者研究水肥一体化技术起步较晚。我国对于水肥一体化的研究起源于 20 世纪 70 年代，目前灌溉技术得到了极大地发展，但相对

收稿日期：2022-09-19 **修回日期**：2022-11-08

基金项目：江西省教育厅科学技术研究项目（GJJ210610）

作者简介：聂训，硕士生，主要从事农业物联网研究 E-mail：1064673150@qq.com

黄招娣，通信作者，硕士，实验师，主要从事农业物联网应用、NB-IoT 技术应用、机器学习及应用研究 E-mail：14136092@qq.com

在线投稿
www. d1ae. com

于国外而言还有一定的距离。张文霞等[4]通过将物联网技术和 Zigbee 技术相结合设计研究了智能农业温室大棚管理系统，该系统能够实时地监测大棚内的温湿度、光照强度，并且能对异常情况进行报警，但其数据传输的稳定性还需要进一步加强。贺芳[5]采用 Zigbee 和 GPRS 技术构建了一套远程灌溉系统，并采用模糊控制方法设计灌溉控制策略，提高了灌溉的精确度，但其对于水肥电导率和酸碱度的控制策略研究还不够深。

目前国内许多学者对于水肥一体化有着一定研究，但智能化和数据传输的稳定性还需要进一步加强。对于肥液的电导率和酸碱度的控制研究较少且不成熟[6]。设计一种基于物联网的水肥一体化管控系统，在施肥过程中，深入研究控制肥液的电导率和酸碱度，使肥液的电导率和酸碱度始终保持在正常的范围内；系统不仅可以显示土壤墒情、*EC* 值和 pH 值，还可以通过人机交互界面查看历史数据、设置工作模式及查看故障等。系统采用 Zigbee 技术和窄带宽物联网（Narrow Band Internet of Things，NB-IoT）技术对数据进行传输，使数据在传输过程中的稳定性得到了一定的保证；系统将数据传输至人机交互界面和服务器进行显示和存储，便于用户实时查看，从而远程监控系统工作[7]。

1 总体设计方案

基于物联网的水肥一体化管控系统采用物联网模块思想进行设计与研究，包括 3 个部分。①终端层，负责采集土壤温湿度、空气温湿度、*EC* 值和 pH 值等参数并将采集到的数据发送至网关。②网络传输层，负责数据的传输，该层可将终端层采集到的数据上传至应用层，也可将应用层的命令下发至终端层。③应用层，负责处理终端层的数据，将其发送给网络服务器，通过人机交互界面将其显示出来，同时将依据数据处理结果，下达相应的控制命令给终端层。该系统总体架构如图 1 所示。

1.1 终端层

终端层作为整个系统参数的输入部分，能够采集土壤温湿度、空气温湿度、*EC* 值和 pH 值。采用 Zigbee 技术将采集到的数据传输至网关，每个终端节点都会采集土壤温湿度和空气温湿度等参数，通过 CC2530 芯片的 I/O 口控制继电器从而控制水肥一体化的开关。

终端层采集到的数据非常庞大，但是对于大多数节点来说，其处理数据的能力非常有限，因此在数据传输至网关之前必须使用算法对采集到的数据进行融合处理[8]。数据融合算法的种类较多，常见的有加权平均法、卡尔曼滤波法、多贝叶斯估计法和 D-S 证据推理法[9]。经过对比分析，系统最终选定了加权平均算法作为数据融合方法对采集到的数据进行融合处理。

1.2 网络传输层

网络传输层采用 Zigbee 技术和 NB-IoT 技术将数据

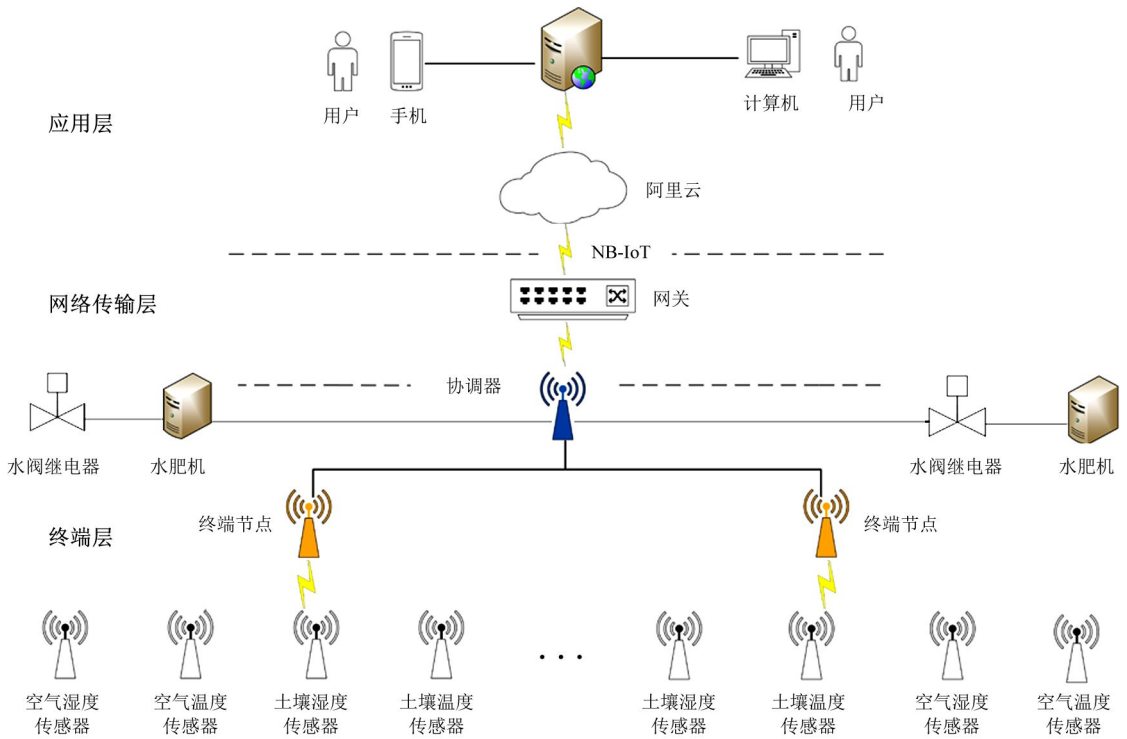

图 1 系统总体架构

Fig. 1 General system architecture

传输至云端。从终端层到网络传输层采用 Zigbee 技术对数据进行传输，各 Zigbee 之间采用网状拓扑结构的方式。从网络传输层到应用层采用 NB-IoT 技术对数据进行传输，其协议采用消息队列遥测传输通讯协议（Message Queuing Telemetry Transport，MQTT）。NB-IoT 技术是新型的物联网通讯技术，具备了范围宽、连接多和功耗少的优势，该系统具有良好的应用前景，尤其适用于灌溉系统中的土壤监测。MQTT 是以 TCP/IP 为基础，以发行和订购为基础的“轻量级”通信协议[10]。MQTT 通信协议使用发布/订阅的模式进行数据的传输。客户端既可以是发布者也可以是订阅者，服务器作为发布者和订阅者之间的桥梁，负责消息的转发，发布者也可以充当订阅者，发布订阅消息，这样便实现了数据信息的生产和消费的脱耦[11]。

1.3　应用层

应用层采用 PHP 语言进行相应的设计，通过获取网络服务器的数据连接发送至 MySQL 本地服务器数据库，再对数据进行接收、分析并处理，最后通过 B/S 架构来对接 Web 端和服务器端，以便用户对于农作物生长环境参数进行直观的感受和准确的认知，从而使用户更容易进行相应的施肥和灌溉，实现节水节肥的效果。

2　系统硬件设计

2.1　土壤环境信息采集模块

土壤环境信息采集模块主要由 CC2530 芯片、传感器、电源电路、时钟复位电路和驱动电路构成，结构如图 2 所示。该模块主要对土壤温湿度、空气温湿度进行环境信息采集。CC2530 单片机通过与 BC26 的串口相连接，将数据传输到 BC26 上，最后通过串口发送的指令驱动 BC26 与物联网平台成功联网。其传感器参数如表 1 所示。

硬件系统中使用的芯片是由 TI 特别为 ZigBee 协议研发的 CC2530 芯片，其 CPU 使用的是增强型的 8051CPU，CC2530 内的协议栈由 TI 提供。本系统中的嵌入式程序开发主要是对 Z-Stack 协议栈的二次开发。

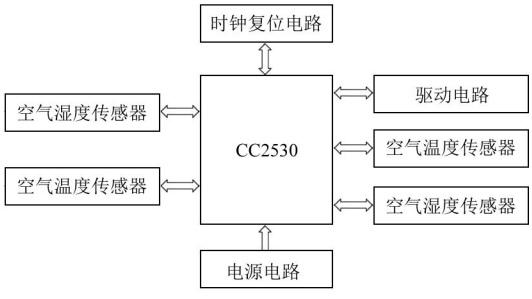

图 2　环境采集模块硬件结构

Fig. 2　Hardware structure of environment acquisition module

表 1　土壤环境信息采集模块传感器参数

Tab. 1　Sensor parameters of soil environmental information collection module

传感器	量程	精确度	分辨率
土壤湿度	0～100%RH	±3%RH	0.1
土壤温度	−20～60 °C	±0.5 °C	0.1
空气湿度	0～100%RH	±3%RH	0.1
空气温度	−20～60 °C	±0.5 °C	0.1

CC2530 芯片具有功耗低、传输距离适中等优点，适用于田间环境信息的监测。环境采集模块原理如图 3 所示。

2.2　水肥一体化模块

水肥一体化模块是通过 CC2530 单片机控制继电器从而控制水泵和水肥机的开关动作，同时通过人机交互界面能够实时关注田间基本信息，使用户能够及时了解到作物生长情况。用户可以选择手动或者自动改变水肥一体化模块的工作状态。水肥一体化模块将数据发送给 BC26 模块，BC26 模块通过 NB-IoT 的通信方式将其与互联网平台成功联网，并且在数据库中进行存储。人机交互界面如图 4 所示。

水肥一体化主要涉及作物耕种、田地灌溉等方面，其施肥装置主要包括供水管、水泵、逆止阀、闸阀、施肥灌、压力表、过滤器、排污管、主干管、干管、毛管、支管和冲洗阀。

施肥装置通过控制水泵、逆止阀、闸阀、冲洗阀和施肥灌等器件对农作物进行灌溉，压力表可保证整个施肥装置处于安全状态，过滤器和排污管能过滤掉杂质和废料。整个施肥装置可构建不同作物在不同生长期下的最优肥液电导率和酸碱度，使作物在不同的生长阶段能够获取最佳的给水量和施肥量，实现对水液和肥液智能化控制。施肥装置结构如图 5 所示。

为了能够实时监测肥液的 *EC* 值和 pH 值，选用 DDM-202 型在线电导率传感器和 PHG-206 型在线 pH 传感器对两者进行实时监测，针对普遍农作物而言，*EC* 值的正常范围为 1～4 mS/cm，pH 值正常范围为 5.5～7.0[12]。传感器参数如表 2 所示。

3　系统软件设计

3.1　土壤环境信息采集模块

土壤环境信息采集模块是水肥一体化研究的基本组成部分，该采集模块中每组传感器对土壤温湿度及空气温湿度进行采集，采集完成将数据发送至终端节点。在网关和服务器之间，系统通过 NB-IoT 技术和 MQTT 协议对数据进行传输，每分钟上传 1 次。该程序包括串口初始化、串口通信和数据传输等子程序。程序流程如图 6 所示。

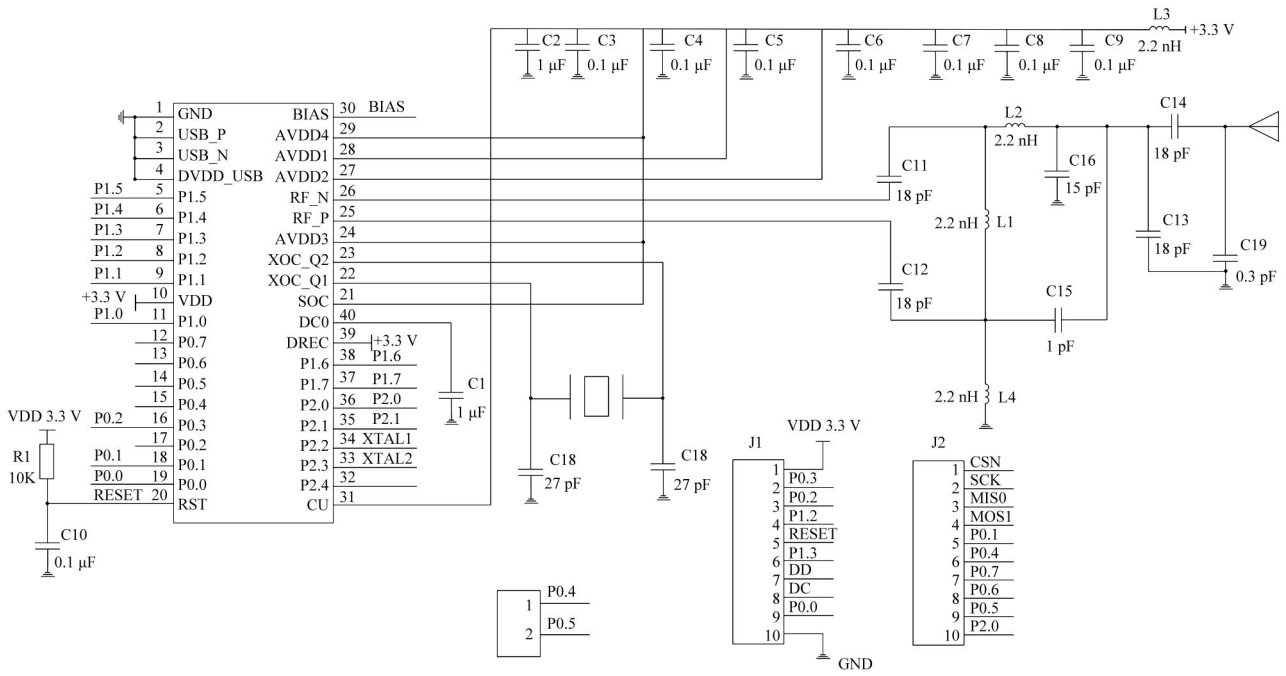

图 3 环境采集模块原理

Fig. 3 Principles of environmental collection module

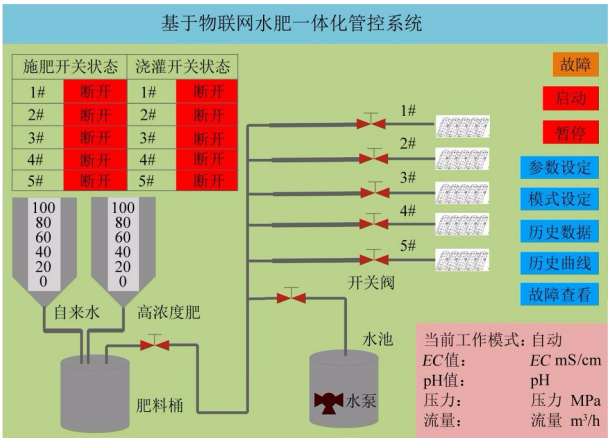

图 4 人机交互界面

Fig. 4 Human-computer interaction interface

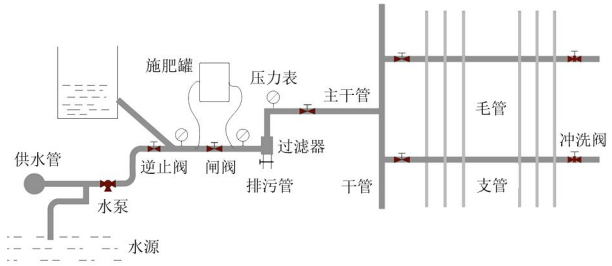

图 5 施肥装置结构

Fig. 5 Structure of fertilizer application device

3.2 水肥一体化模块

水肥一体化模块主要包括数据转换、中断和 BC26 通信等子程序。当模块上电后，通过人机交互界面设置好肥液的 *EC* 值和 pH 值，以及灌溉施肥的时间和流量。传感器会实时检测管道中的 *EC* 值和 pH 值，并将其数据输送到 CC2530 单片机上。当达到预设浓度时，管理者可以手动或者自动打开开关阀，水肥一体化系统开始工作。模块工作时，按照 60 s 的时间间隔将工作数据及 CC2530 单片机数据通过 BC26 模块传输至物联网监控平台。程序流程如图 7 所示。

表 2 水肥一体化执行模块传感器参数

Tab. 2 Sensor parameters of water and fertilizer execution module

传感器	量程	精确度	分辨率
EC 值/(mS·cm^{-1})	0～5	±1.5	0.001
pH 值	0～14	±0.1	0.01

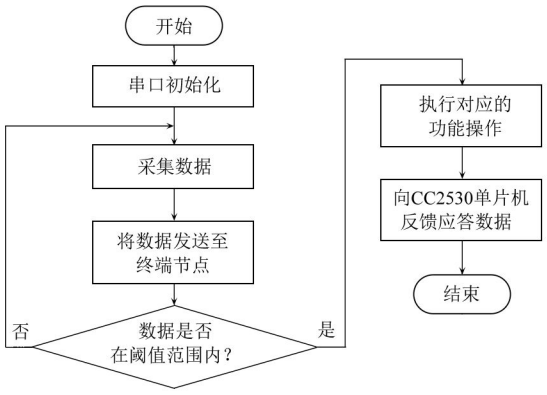

图 6 土壤环境信息采集模块流程

Fig. 6 Flow chart of soil environmental information collection module

3.3 数据库

数据库设计采用 E-R 实体联系模型来表示，逻辑结构设计是为了将概念模型映射到具体的数据库中[13]。设备数据如表 3 所示。

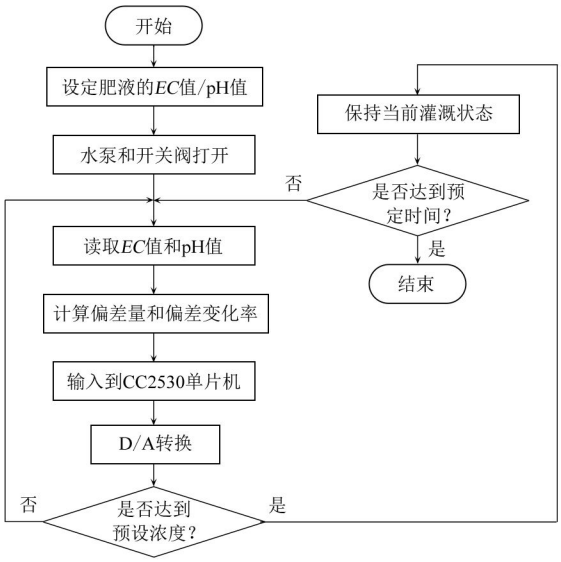

图 7　水肥一体化模块程序流程

Fig. 7　Water and fertilizer integration module program flow chart

表 3　设备数据

Tab. 3　Equipment data

字段名称	数据类型	字段含义
Device name	int	设备名称
temperature	float	温度
PH value	float	pH 值
humidity	float	湿度
EC value	float	*EC* 值

3.4　监控平台

监控平台采用 B/S 架构进行设计开发。该模式分为 3 层结构，分别是表示层、应用层和数据存储层[14]。表示层是通过 Web 客户端显示实时数据、设备状态及各类传感器信息等；应用层是用户发送相应的命令，通过表示层请求执行相应的操作；数据存储层是将所有的数据进行存储，并且将数据处理结果返回给应用层。监控平台界面如图 8 所示。

4　系统测试

基于物联网的水肥一体化管控系统在江西省上饶市广丰区某生态园进行实地测试，现场安装运行如图 9 所示，用户可根据自身需求设置自动控制或手动控制，可在人机交互界面上进行参数的设置，如肥液的浓度和酸碱度、灌溉施肥的时间和流量等一系列参数。同时用户还可以在 Web 网页端或者手机端实现数据监测、历史数据查询及故障查看等一系列操作。Web 网页端界面如图 10 和图 11 所示。

系统测试过程中，人机交互界面简洁大方、操作简单灵活，能提供多种形式的数据显示，用户能够快速完成基本参数的设定。在工作过程中，BC26 模块与物联网监控平台连接正常，终端层数据采集准确，数据融合处理迅速，数据能够每分钟上传 1 次且传输稳定，网络服务器接受数据正常，数据库能够完整保存相应的数据[15]。

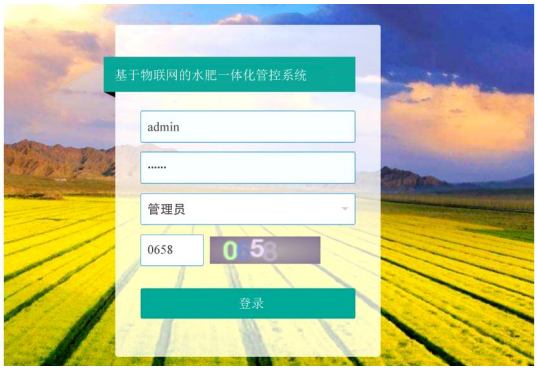

图 8　监控平台界面

Fig. 8　Monitoring platform interface



图 9　试验设备

Fig. 9　Test equipment

该系统根据采集到的数据能够实时发送控制命令至终端层，终端层能够准确无误地执行用户所发的命令以满足用户的需求。随机选取某天环境参数的历史数据，每隔 1 h 选取 1 次，共选取 9 组数据。经过与手持式数字传感器现场测量相比，该系统传感器工作稳定，采集数据的偏差小。环境参数的历史数据如表 4 所示。

水溶液的 *EC* 值和 pH 值是影响作物生长的关键因素，用户可根据人机交互界面的历史数据和历史曲线对肥液自动配比过程中电导率和酸碱度的准确性进行分析。随机选取某天连续 120 min 的数据，每 5 min 选取 1 次，共 24 组数据，从上午 10：00 开始选取。经测试系统工作过程中 *EC* 值和 pH 值均在合理的范围内。肥液电导率和酸碱度的历史数据如表 5 所示。

根据历史数据，混合液的 *EC* 值数据如图 12 所示。水肥一体化模块开始工作时，在 0～15 min 过程中水肥 *EC* 值快速增加，在 15 min 时达到最大值，随之开始减少，在 20 min 时达到预定值，随后保持相对稳定。稳定值在 3.42 mS/cm 左右，在正常范围内。

根据历史数据，混合液的 pH 值数据如图 13 所示。



图 10 系统设备查询

Fig. 10 System equipment query chart

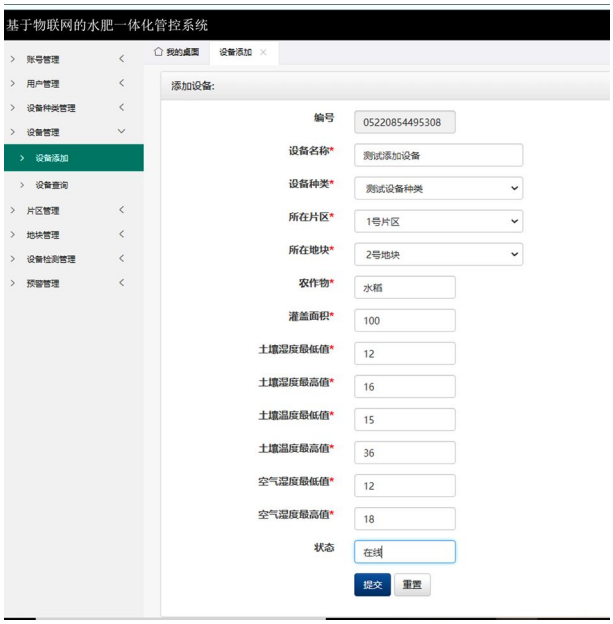

图 11 系统添加设备操作

Fig. 11 System add device operation

表 4 环境参数数据

Tab. 4 Environmental parameter data

时刻	土壤温度/°C	土壤湿度/%RH	空气温度/°C	空气湿度/%RH
9：00	19.0	32.6	20.0	65.1
10：00	21.3	34.9	28.0	45.2
11：00	24.6	34.2	30.2	33.4
12：00	25.5	33.3	32.7	31.2
13：00	55.8	32.9	33.1	28.8
14：00	30.1	34.8	32.9	27.1
15：00	27.4	34.3	27.8	34.6
16：00	24.9	33.6	21.2	47.3
17：00	23.2	33.2	17.1	55.2

通过 pH 值曲线可知，稳定值在 5.62 左右，也在正常范围内。试验证明，水肥一体化模块在工作过程中能够满足作物对于水肥 *EC* 值和 pH 值的需求。

表 5 灌溉施肥过程中 *EC* 值和 pH 值

Tab. 5 *EC* and pH values during irrigation and fertilization

时刻	*EC* 值/（mS • cm^{-1}）	pH 值	时刻	*EC* 值/（mS • cm^{-1}）	pH 值
10：00	0.03	7.10	11：00	3.42	5.63
10：05	2.85	6.22	11：05	3.42	5.62
10：10	3.48	5.65	11：10	3.43	5.64
10：15	3.57	5.58	11：15	3.42	5.64
10：20	3.44	5.63	11：20	3.41	5.62
10：25	3.43	5.62	11：25	3.42	5.61
10：30	3.42	5.61	11：30	3.43	5.63
10：35	3.43	5.61	11：35	3.42	5.62
10：40	3.42	5.63	11：40	3.41	5.62
10：45	3.41	5.62	11：45	3.42	5.61
10：50	3.43	5.63	11：50	3.43	5.62
10：55	3.42	5.64	11：55	3.42	5.63

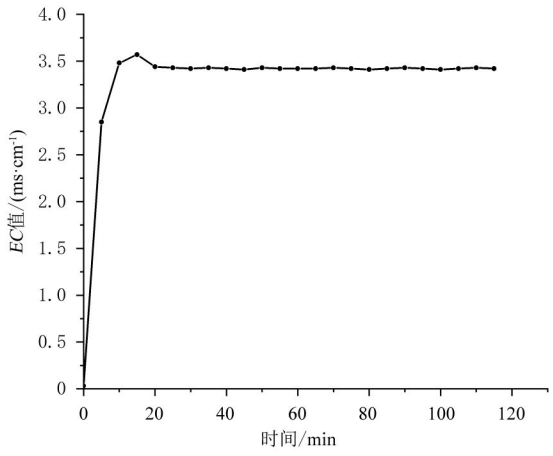

图 12 施肥过程 *EC* 值变化曲线

Fig. 12 *EC* value change curve during fertilizer application

5 结束语

基于物联网的水肥一体化管控系统，采用了物联

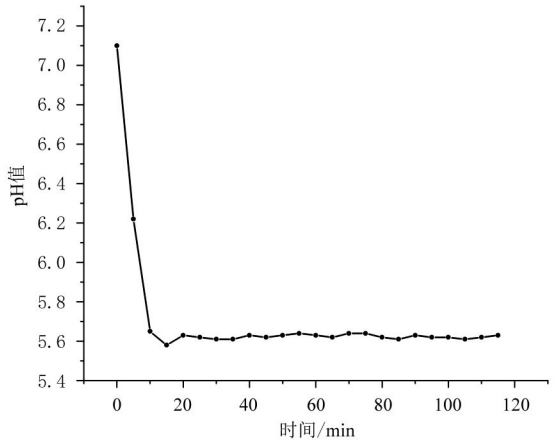

图 13　施肥过程 pH 值变化曲线

Fig. 13　pH value change curve during fertilizer application

网模块化思想，针对土壤温湿度、空气温湿度、*EC* 值和 pH 值进行环境信息采集；通过 Zigbee 技术和 NB-IoT 技术实现数据无线传输至云端，确保了数据传输的无线远距离且稳定；采用人机交互技术实现可视界面的远程监控、历史数据查询和故障查看等一系列功能。基于物联网的水肥一体化管控系统可以实现实时精准调节配肥电导率和酸碱度，大幅度提高了配比精确度，方便了用户管理，降低了作物种植过程中的人力和财力成本，节约了水资源。该成果在数字农业方面具有一定的实用性和推广性，在提高产量、节约资源等方面具有一定意义。

参考文献

[1] 于奂杰．日光温室西红柿水肥一体化高效节水技术[J]．现代农村科技，2015(11)：20-21.

[2] 赵进，张越，赵丽清，等．水肥一体化智能管理系统设计[J]．中国农机化学报，2019，40(6)：184-190.
ZHAO Jin，ZHANG Yue，ZHAO Liqing，et al．Design of integral management system of water and fertilization[J]．Journal of Chinese Agricultural Mechanization，2019，40(6)：184-190.

[3] KALOXYLO A，EIGENMANN R，TEYE F，et al．Farm management systems and the Future Internet era[J]．Computers & Electronics in Agriculture，2012，89：130-144.

[4] 张文霞，王圆，张凯，等．基于 ZigBee 无线网络的智能农业温室大棚管理系统的设计与实现[J]．中国农机化学报，2016，37(6)：247-250.
ZHANG Wenxia，WANG Yuan，ZHANG Kai，et al．Design and implementation of intellgent agricultural greenhouse management system based on ZigBee wireless network [J]．Journal of Chinese Agricultural Mechanization，2016，37(6)：247-250.

[5] 贺芳．基于 Zigbee 与 GPRS 的灌溉施肥控制系统的研究与实现[D]．海口：海南大学，2015.
HE Fang．Research and implementation of irrigation and fertilization control system based on Zigbee and GPRS[D]．Haikou：Hainan University，2015.

[6] 吕途．基于物联网的水肥一体化智能灌溉系统研究[D]．郑州：华北水利水电大学，2019.
LV Tu．Research on intelligent irrigation system of water and fertilizer integration based on internet of things[D]．Zhengzhou：North China University of Water Resources and Electric Power，2019.

[7] KURAKU Y，KOYAMAD K，SUMI T，et al．Sustainable development of irrigation system with Sayama-ike reservoir[J]．Journal of Hydro-Environment Research，2019，26：8-13.

[8] 唐荥．基于物联网的农业感知数据融合应用研究[D]．长春：吉林大学，2016.
TANG Xing．Research on the application of agricultural perceptual data fusion based on lnternet of things[D]．Changchun：Jilin University，2016.

[9] 李凤芝．基于农业物联网的水肥一体化系统设计与实现[D]．郑州：郑州大学，2018.

[10] 陈洵．基于 MQTT 的农业物联网管理平台的设计与实现[D]．保定：河北农业大学，2020.
CHEN Xun．Design and implementation of agricultural internet of things management platform based on MQTT[D]．Baoding：Hebei Agricultural University，2020.

[11] 曾昂，李宁，严俊．Mosquitto 大文件传输方式的研究与改进[J]．计算机工程与应用，2017，53(4)：123-127.
ZENG Ang，LI Ning，YAN Jun．Research and improvement of Mosquitto file transfer[J]．Computer Engineering and Applications，2017，53(4)：123-127.

[12] 张宝峰，陈枭，朱均超，等．基于物联网的水肥一体化系统设计与试验[J]．中国农机化学报，2021，42(3)：98-104.
ZHANG Baofeng，CHEN Xiao，ZHU Junchao，et al．Design and experiment of integrated water and fertilizer system based on Internet of Things[J]．Journal of Chinese Agricultural Mechanization，2021，42(3)：98-104.

[13] 张光跃，金诚谦．基于云平台设施种植监测系统设计[J]．中国农机化学报，2019，40(6)：140-144.
ZHANG Guangyue，JIN Chengqian．Design of facility planting monitoring system based on cloud platform[J]．Journal of Chinese Agricultural Mechanization，2019，40(6)：140-144.

[14] 袁洪波，程曼，庞树杰，等．日光温室水肥一体灌溉循环系统构建及性能试验[J]．农业工程学报，2014，30(12)：72-78.
YUAN Hongbo，CHENG Man，PANG Shujie，et al．Construction and performance experiment of integrated water and fertilization irrigation recycling system [J]．Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering，2014，30(12)：72-78.

[15] 张强．基于物联网的农业温室智能监测电气系统[D]．天津：天津理工大学，2019.
ZHANG Qiang．Intelligent monitoring electrical system of agricultural greenhouse based on internet of things[D]．Tianjin：Tianjin University of Technology，2019.