

阴国富,朱创录. 植物工厂生产方式下智慧农业监控平台的研究与设计[J]. 江苏农业科学,2018,46(21):232-237.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.21.059

# 植物工厂生产方式下智慧农业监控平台的研究与设计

阴国富<sup>1</sup>,朱创录<sup>2</sup>

(1. 渭南师范学院大学科技园/陕西省渭南市智慧城市工程技术研究中心,陕西渭南 714000;

2. 渭南师范学院网络安全与信息学院/陕西省渭南市智慧城市工程技术研究中心,陕西渭南 714000)

**摘要:**西北地区农业生产条件的特点是土壤贫瘠、干旱、光照强度高,非常适合植物工厂等现代设施农业生产,但当前由于存在生产设施自动化程度低、环境综合控制能力差、运行管理水平低等问题,直接影响农业生产效率和资源的集成利用率。从以上问题出发,通过物联网技术在设施农业中的综合应用,设计一种适合植物工厂生产模式下的智慧农业监控系统。该系统能够进行植物工厂生产区域的环境监测,并根据专家知识系统进行综合控制,实现植物工厂的自动化管理,降低生产过程对生产者技术水平和经验的依赖度,另外,通过太阳能光伏微电网系统和太阳能集热系统的应用,可以降低生产过程中的能量消耗,减少精细农业生产成本。该系统通过在陕西省渭南市华州区智慧农业试点项目中进行应用,提高了生产质量和生产效率,为品质作物的量化生产和标准化管理提供智能管理保障。

**关键词:**植物工厂;环境监控;智慧农业;监控平台

**中图分类号:** S126      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1002-1302(2018)21-0232-06

植物工厂是通过设施内高精度环境控制实现农作物周期性连续生产的高效农业系统,是利用智能计算机和电子传感系统对植物生长的温度、湿度、光照、CO<sub>2</sub>浓度以及营养液等环境条件进行自动控制,使设施内植物的生长发育不受或较少受自然条件制约的高效生产方式<sup>[1]</sup>。植物工厂是现代设施农业发展的高级阶段,是一种高投入、高技术、精装备的生产体系,集生物技术、工程技术和系统管理于一体,使农业生产从自然生态束缚中脱离出来。按计划进行植物产品生产的工厂化农业系统,是农业产业化进程中应用高新技术成果最具活力和潜力的领域之一,是现代精细农业的典型代表。

植物工厂的发展已超过了半个世纪,根据光能的利用方式可分为3种类型,即太阳光利用型植物工厂、全人工光利用型植物工厂、太阳光和人工光并用的综合型植物工厂<sup>[1]</sup>。广义上来说,一切通过改变植物的生活环境的设施,包括大棚、温室、种苗繁育箱等都属于植物工厂概念范畴,目前,通常的分类方法是按照植物生长中最重要的条件之一光能来进行分类。太阳光利用型在我国有广泛的应用,主要表现为精密温室;太阳光和人工光并用的综合型植物工厂则在欧美较为盛行;全人工光利用型植物工厂又称为密闭式植物工厂,它是植物工厂发展的高级阶段,该类型植物工厂大多属于学术上的研究,但也有产业界发展的例子,不过由于其投资及过程控制成本较高,难以得到全面推广,但目前随着LED光源技术的不断发展,LED光源的成本、能量消耗不断降低以及

LED可控光谱的扩展,使该类型的植物工厂逐渐被人们所关注<sup>[2]</sup>。人工光源的普遍应用使植物工厂降低了对环境的依赖,保证了产量的稳定性和可控性,然而此种生产方式由于在植物工厂中大量的控制设备的使用,如果还采用传统的人工控制方式,可能导致生产效率不能有效提高、控制不精准等问题的出现,因此迫切需要将植物工厂的生产模式和物联网的泛在互联和全面监控技术结合起来,打造新型的自动化、智能化的智慧农业生产模式。

本研究旨在建立一套适用于植物工厂内作物栽培的环境监控物联网系统,系统涉及的硬件包含Web服务器、可编程无线网络接入器、无线基站、温度与湿度传感器、二氧化碳传感器、酸碱度传感器、导电度传感器、荷重元、加湿机、二氧化碳电磁阀与钢瓶、人工光源、蠕动泵、太阳能发电设备和集热装置等。各项传感器通过可编程无线网络接入模块或有线网络将数据传递给无线光载交换机,实现与服务器的数据传输,构建植物工厂的网络基础。系统软件可分成Web服务系统与APP客户端2个部分,Web服务可以通过无线基站与可编程无线网络接入器通信,负责量测数据的获取、上传至Web系统、执行各项设备的控制动作及与Web系统的同步作业。由于Web系统提供了便捷的人机接口,允许用户通过网络联机来浏览与操作整套系统,当用户对控制策略或各项设定值修改时,即可和主程序维持相同设定,达到同步作业的目的。

## 1 总体设计

物联网被世界公认为是继计算机、互联网和移动通信之后的又一次信息革命浪潮,在农业生产领域,物联网技术的应用也为实现农业的信息化和产业化带来了前所未有的机遇。尤其对像我国这样的农业大国,智慧农业的应用推广对加快转变农业发展方式、提高农业的种植和管理效率、促使传统农业转型升级具有十分重要的意义<sup>[3]</sup>。植物工厂由于设备自动化程度高、管理工艺控制精确,特别适合物联网进行智慧农

收稿日期:2018-03-26

基金项目:陕西省重点研发计划(编号:2017GY-204);教育部产学研合作协同育人项目(编号:201701045003);陕西省渭南市科技计划(编号:2017JCYJ-2-2);渭南师范学院自然科学类研究项目(编号:17YKS14)。

作者简介:阴国富(1980—),男,陕西富平人,博士,教授,主要研究方向为智慧农业与物联网工程。E-mail:yinguofu@126.com。

业的试点应用<sup>[4]</sup>。本系统实践应用的陕西省渭南市智慧农业华州区试验站建有太阳光和人工光并用的综合型植物工厂,为系统的实施提供了平台基础,构建的这种温室将低碳节能技术、物联网技术及现代农业装备技术有机融合,不仅具有低耗能、高效能、生态环保等特点;在功能上,还可同时进行果菜、花卉和种苗的试验、展示与生产,实现精准远程控制、自动化育苗及智能果蔬栽培、立体栽培模式等的运用,构成了智慧农业的生产环节,其中控制的核心就是智慧温室监控系统。

植物工厂智慧农业系统从层次控制角度可分为数据采集及设备控制层、数据传输及存储层、网络应用层3个层次,植物工厂智慧农业系统基本框架见图1。数据采集及设备控制层负责从遍布植物工厂内的传感器获取环境信息,为主控机

决策提供数据支持,还负责从数据传输与网络层获取控制信息对设备进行控制<sup>[5]</sup>。数据传输与存储层负责将数据采集与控制层采集到的数据通过数据融合的方法汇总成满足以太网传输的EThemeII格式,并通过TCP/IP协议与上层应用进行通信,另外还负责进行控制信息的传输以及植物工厂内部数据的存储及控制过程的记录。网络应用层从数据传输与存储层获取植物工厂中的环境信息,这些环境信息经过农业专家系统进行逻辑判别产生设备的控制信息,并传递给网络传输与存储层实现设备的控制,通过Web平台进行环境信息的展示及手动控制接口的实现。智慧农业生产监控系统主要包括5个独立的子系统,分别为环境控制、营养液控制、太阳能发电、太阳能集热、视频监控子系统。

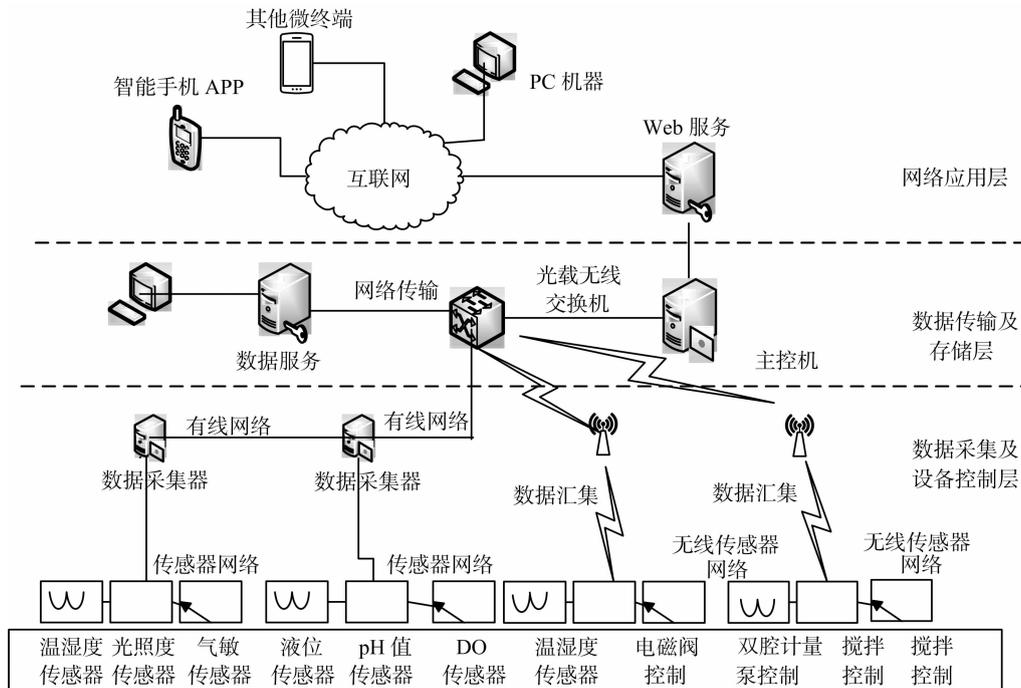


图1 植物工厂智慧农业系统基本框架

### 1.1 温室环境控制系统

温室环境控制系统主要由现场的环境数据采集设备(包括室外气象站、室内环境数据采集器)、控制器及主控机组成<sup>[6-8]</sup>。安装在现场的环境数据采集器、控制器、主控机及室外气象站之间采用可编程无线网络接入器、无线基站进行数据传输。主控机与数据库服务器及Web应用服务器之间通过以太网或光纤进行互联<sup>[9]</sup>。

主控机自带数据库,可以将采集的环境参数进行本地保存,本地数据库与数据库服务器可以根据用户设置进行同步。同时,主控机上安装有自控程序,可根据室内采集器及室外气象站获取的环境参数以及用户配置的相关阈值,按照既定的控制逻辑模型进行控制计算,并对控制器发送控制指令。控制器通过接收主控机发出的控制指令,来控制相关继电器的闭合,进而对环境控制设备(天窗、内外遮阳、侧窗、湿帘风机、高压雾喷等)进行控制。通过主控机还可以设置主控机的工作参数,配置采集设备节点。

### 1.2 营养液控制系统

与环境控制系统相似,营养液控制系统基于采集器、控制

器及主控机进行设计,现场设备之间采用无线通信技术进行数据传输。通过为采集器配置不同的传感器来采集营养液液位、溶解氧量、pH值及EC值等相关参数,采集数据传输至主控机,主控机根据既定的营养液控制模型进行计算,并向控制器发送控制指令。控制器接受控制指令后,控制配电柜中相关继电器的闭合,进而控制相关营养液控制设备(如营养液配液电磁阀、营养液纯水电磁阀、紫外线消毒器等)。

### 1.3 太阳能光伏微网发电系统

公共电网正常时,太阳能微网发电系统的全部光伏发电能被优先使用,同时作为备用能量源的蓄电池始终处于充满状态,多余光伏发电可以馈向公共电网。通过双向逆变器,蓄电池可以接入公共电网中,双向逆变器工作在交流充电器模式,确保蓄电池始终处于充满状态。当公共电网停电时,太阳能微网发电系统的蓄电池向主控机提供电能,并通过主控机向用户手机发送报警信息,此时主控机处于节能模式,停止具有较低优先级的设备工作,以达到节能的目的。

### 1.4 太阳能集热系统

太阳能集热系统主要负责采集太阳热能,实现植物工厂

内部的营养液温度控制需求,在能量供应充足的情况下,也可作为植物工程内部温度控制的热源之一。太阳能集热系统主要包括太阳能集热器、太阳能储热水箱、循环系统、自动控制系统、智能监控显示系统等。

### 1.5 视频监控系統

在生产区、走廊、附属作物定植间、包装间等根据需设置监控点,实现视频采集的无死角全面覆盖,在监控中心通过摄像头实现对温室以及周围环境的全方位监测。

## 2 关键技术及设计

植物工厂环境控制系统涉及到传感器、网络传输、机电控制以及计算机信息处理等诸多方面。本研究以植物工厂环境数据采集为基础,通过 Web 端或手机 APP 进行监视并通过手动或者自动的方法发出控制指令,实现植物工厂环境及生产过程的自动控制。在植物工厂中,影响作物生长的环境因子很多,但影响作物生长的主要因素是温度、湿度、营养液浓度以及光照强度,因此该设计以这几个方面的参数作为监控重点,实现植物工厂温室内温湿度、营养液浓度、光照强度数据

的采集与控制以及太阳能的综合利用等功能。

### 2.1 网络及控制系统设计

监控系统总体架构见图 2,通过遍布植物工厂室内和室外的传感器,动态感知环境信息,包括环境温度、环境相对湿度、露点温度、大气压力、风速、风向、降水量、水面蒸发、叶面湿度、日照时数、光照度、太阳总辐射、光合有效辐射、紫外线辐射等,通过可编程无线网络接入器汇集信息并传递给无线 AP,在有布线条件的区域可以通过以太网进行传输,在无布线的临时农业生产区域通过 Wi-Fi 网络、ZigBee 网络接入,并最终将汇集信息传递给主控机。主控机的功能包括:通过光载无线接入技术,将多种网络进行融合接入,实现在不同植物工厂网络基础差异化较大情况下的无障碍接入,既可以实现基于以太网的多机温室群组的网络控制,又可以直接接入互联网,实现 Web 网站发布,可以通过普通电脑或者手机 APP 客户端远程网络控制,实现农业温室远程全智能控制系统的控制理念,通过简便的用户接口实现智能温室内部和外部环境的全覆盖动态监控。

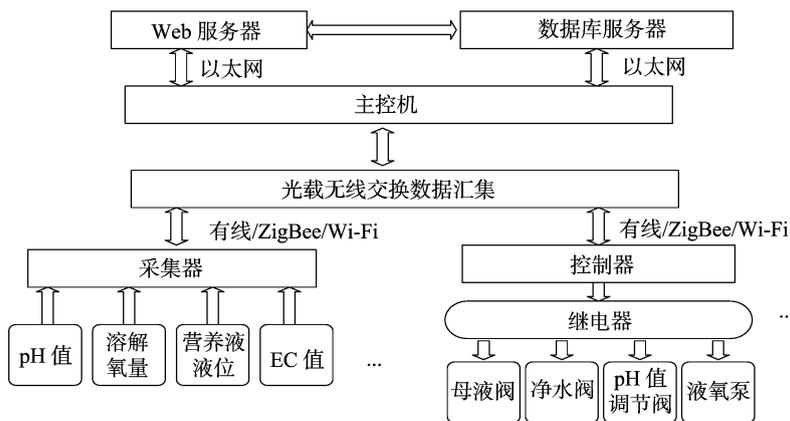


图2 总体监控架构

监控系统不但实现了环境信息的采集、分析、显示,并以动态折线图的形式显示出来,而且主控机内部嵌入的专家系统可以实现农业生产要素参数的动态控制。监控系统数据流程见图 3。采集和控制功能主要包括以下几个方面:(1)主控机通过室外气象站获取室外环境的空气温度信息、空气湿度信息、光照信息、风向信息、风速信息、雨量信息、雨雪信息、光照信息;主控机对接收到的室外环境信息进行解析后,将室外环境信息保存到本地数据库,并显示在主控机的显示屏上。(2)采集器获取室内环境的空气温湿度信息、营养液相关信息、辐射信息、CO<sub>2</sub> 浓度信息,并将该信息发送给主控机;主控机对接收到的室内环境信息进行既定模型分析,根据分析结果生成对应的控制命令,并将控制命令发送给各区域的控制器,控制对应受控设备动作。(3)用户可通过物联网温室控制系统访问 Web 服务器,对温室内外的环境进行监测,根据需要进行远程设备控制。(4)主控机通过以太网与数据库服务器相连接,将环境参数实时存入数据库作为历史记录数据保存。(5)主控机里面的专家数据智能判决系统根据采集到的环境信息控制营养液蠕动泵、自动加湿、光照补偿以及太阳能集热系统自动温度调剂。

### 2.2 营养液控制系统

营养液控制模块由主控机、通信模块、系统控制箱、DFT 模式控制单元等部分组成,设置供液、搅拌、检测、配液、液位检测控制以及溶氧量检测及增氧、移动式液温检测、营养液加温/降温功能,以满足植物全生长期对营养液的需求(图 4)。

在营养液控制模块中,采集器获取营养液池的液位信息、溶解氧信息、pH 值信息、EC 值信息、流量信息,发给主控机;主控机接收到营养液池的信息后,在本地数据库进行存储,并利用营养液控制模型进行计算,生成控制指令。主控机将控制指令发送给控制器,进而控制受控设备(母液阀、净水阀、pH 调节阀、循环泵、搅拌泵、液氧泵)动作。

数据库服务器与主控机本地数据库进行同步,一方面对采集的营养液参数进行备份,另一方面 Web 服务器通过对数据库服务器的访问实现对营养液参数的读取;同时 Web 服务器可直接对主控机发送控制命令。主要控制包括以下几个方面。

2.2.1 供液 水培床采用定时控制及专家系统智能判决 2 种模式。在定时控制工作模式中每次供液时间和间隔可自由设置;在专家系统智能判决模式中根据作物的生长特性由专

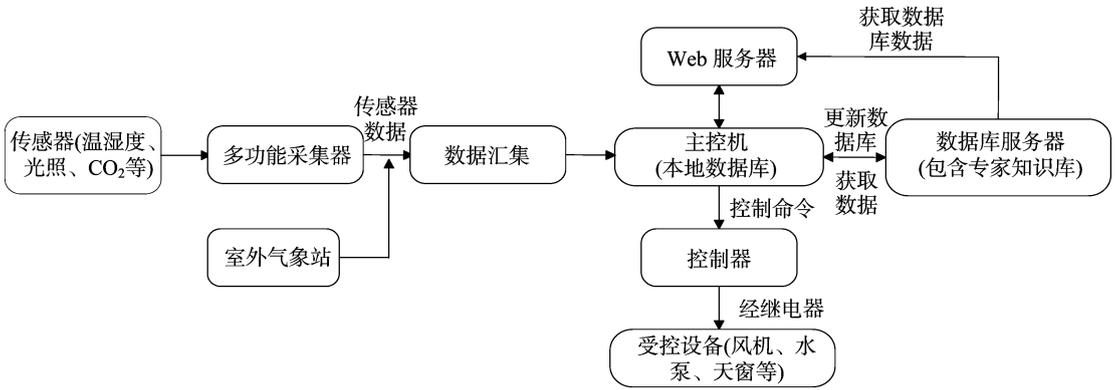


图3 监控系统数据流

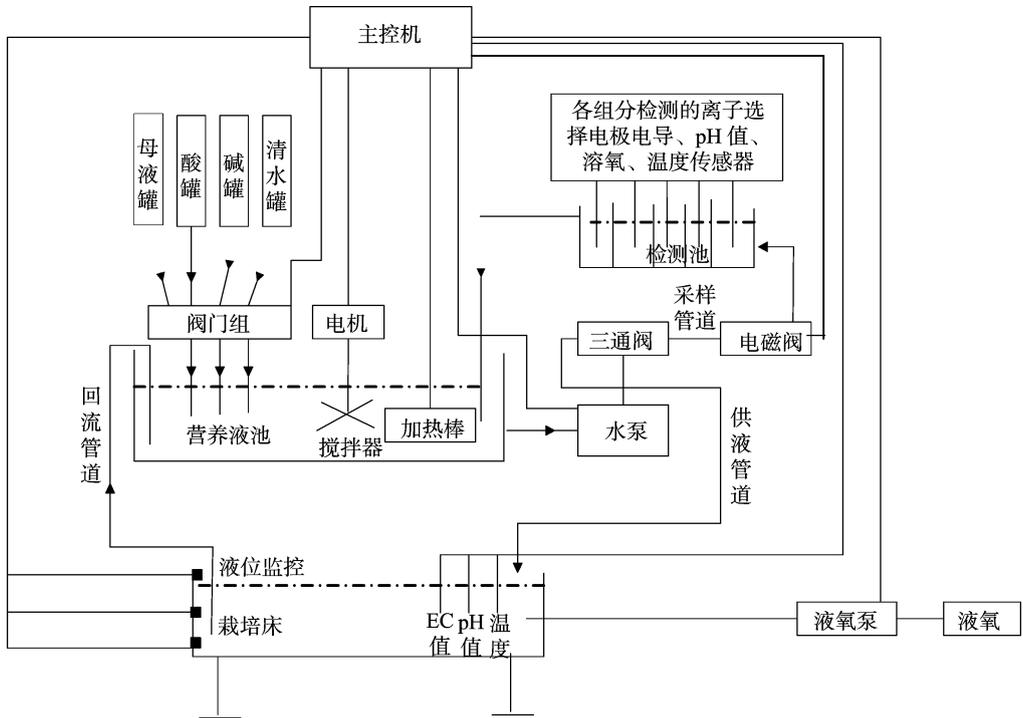


图4 营养液控制模块

家系统内控参数自动进行供液,其判决信息来源于水培床中的传感器。执行供液程序时,为防止沉淀,先进行一定时间搅拌后开始供液。营养液经由储液池、供液泵、供液电磁阀、供液管道进入水培床,利用新液换出陈液后,经过回液管道进入储液池。

**2.2.2 营养液调配** 营养液调配系统设计共有4个母液罐,分别为A液、B液、酸液、碱液。A、B液体是含有不同离子的母液,用于调整营养液中的EC值,酸液和碱液则用来调整营养液中的pH值。营养液调配采用PWM技术,由中控机执行机构操作完成。当EC值低于设定值下限时,A、B原液经双腔计量泵联动同时等量施加,当EC值高于设定上限时,补水电磁阀打开,补入清水。酸碱液则按照pH值的要求,分别通过酸碱液电磁阀控制,采用液面高度差自流。

**2.2.3 液温及增氧控制** 液温控制主要是保障营养液温度满足植物健康生产的温度要求,主要包括温度传感器、冷却装置、加热器,在实施过程中采用2个独立的PT1000温度传感

器,其中1个温度传感器放置在营养液池中,另外1个是可移动温度传感器,用于监测水培床内部的营养液温度。当温度超出阈值的时候自动开启温度控制装置进行温度调节。

在水培营养液供液系统中为了防止外界病原菌进入营养液,水培床、液体池供给管路等都采用了封闭处理,这种方式阻碍了营养液与大气之间的氧气交换,造成了营养液中氧气相对含量较低,因此还必须采用增氧装置。水培床中氧气含量的数值由溶解氧DO传感器获取,作为判断是否开启增氧机的依据。

**2.2.4 液位控制** 液位控制分为3级传感器采集数据,分别是高位传感器、中位传感器、低位传感器。当页面高度达到高位传感器位置时关闭液体供给并发出报警信息;当液面高度低于中位传感器最低值时,开始给液体池供给液体,液体补充达到中位传感器上限时自动停止液体补充;当页面传感器低于低位传感器位置的时候进行液体补充并发出报警信息。

**2.2.5 安全报警控制** 营养液控制系统是植物工厂生产控

制的核心,其安全性直接关系到整个植物工厂生产的安全性,因此必须采取可靠有效的手段进行安全控制,有效避免因系统故障造成事故或对植物生长造成损坏。主要包括以下几个方面的报警控制。

2.2.5.1 中控机报警 造成中控机报警的主要原因是营养液中控制因子超出专家系统设置的预警值,如温度上下限, pH 值上下限, EC 值上下限等原因,这些参数在正常生产过程中是通过自动控制进行的,但可能因为控制系统故障或者传感器故障等问题造成控制失效,因此必须通过中控机进行及时预警,预警信息可以在植物工厂内部通过报警音提示告知管理者,也可以通过服务器向管理员手机发送预警信息。

2.2.5.2 设备安全报警 出现设备安全的报警情况,主要为设备或执行机构出现了不正常的工作状态,当设备安全报警时,控制箱的红色报警灯点亮并发出报警的声音。为防止事故发生和设备损坏,安全报警的同时,系统和相应设备停止工作。设备安全报警分类如下:(1)低液位报警。系统在运行过程中,当液位低于低位传感器时报警。此时,除了补水之外,其他设备暂停工作。(2)制冷机组保护报警。当制冷机组故障或相应热继电器电流过大时报警。此时制冷机组不工

作,处于保护状态。(3)搅拌机保护报警。当搅拌机故障或相应热继电器电流过大时报警。此时搅拌机不工作,处于保护状态。(4)电源断相保护报警。当电源断相时报警,同时切断控制电源,系统停止运行。除以上各项保护外,控制箱内对系统各分支均设有相对独立的电源开关,当运行电流过大或者短路时,将迅速切断相应电源,以保护人身和设备安全。

2.3 太阳能光伏微网发电系统

将太阳能光伏微网发电系统与市电网相结合,太阳能光伏微网发电系统进行植物工厂内部的能量供应,由于天气等原因,太阳能光伏微网发电系统供电不足时自动切换到市电能量供给。通过中控机对太阳能光伏微网发电系统进行控制,从图 5 可以看出,根据光照强度、日照长度可以适当开启 LED 光源补充,以营造适合植物生长的光照条件,使能量消耗大幅度降低。另外,太阳能光伏微网发电系统对 LED 进行直流电充电还具能量损耗小的特点,可以提高在电力供应中的能量损失。太阳能光伏微网发电系统具有电池模块,作为在停电服务器的 UPS(不间断供电系统)使用,可及时向管理员发送停电预警信息并保持关键设备在应急期的正常运行。

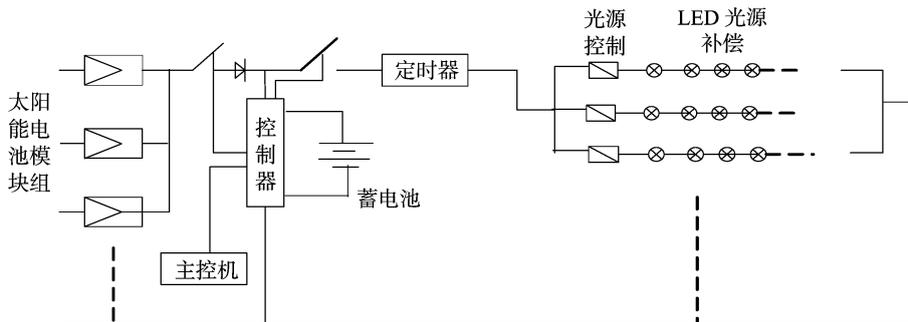


图5 太阳能微电网系统

2.4 太阳能集热系统

太阳能集热系统是综合利用太阳能的另外一种手段,在阳光的照射下使太阳的光能充分转化为热能,通过控制系统自动控制循环泵或电磁阀等功能部件将系统采集到的热量传输到储水保温水箱中,把储水保温水箱中的水加热并成为比较稳定的定量能源供应<sup>[10]</sup>。

植物工厂部署的太阳能集热系统采用强制循环工作方式,从图 6 可以看出,在阳光的照射下,集热器内的水受太阳辐射能加热,温度逐步升高,一旦集热器出口水温和储水箱底部水温之间的温差达到设定值时,温差控制器给出信号,启动循环泵;夜晚太阳辐射度降低,当集热器出口处水温和储水箱底部水温之间的温差达到一定设定值时,温差控制器给出信号,关闭循环泵。循环泵的开启和关闭信号来自于主控机的控制信号,一般设定开启循环泵的温度差值为 8~10℃,关闭循环泵的温度差为 2~3℃。

2.5 控制软件

软件部分通过与软件公司合作进行了定制开发,是以上部分控制功能的用户界面的操作接口,也是自动控制的参数配置接口,主要包括 Web 端的服务管理以及移动端的服务管理 2 个部分。Web 端的服务界面见图 7,主要包含手动控制、自动控制、监控走势分析、远程测试、历史数据、操作日志等功

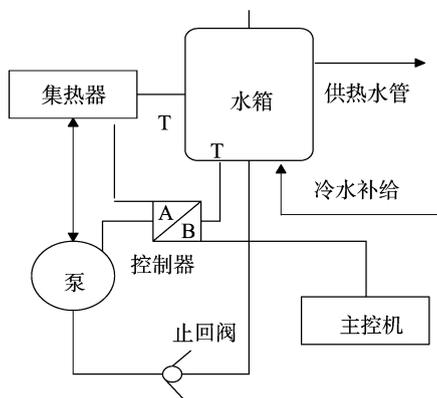


图6 太阳能集热系统

能,另外还可以通过 Web 端实现基础数据的配置和管理员的后台管理功能。远程传感器参数及网络参数的手动调试和配置见图 8。

3 结论

针对以植物工厂为代表的智慧设施农业的现代化管理需求,研究设计了一套能够进行智慧农业生产的综合智能监控系统的软硬件平台,实现了对植物工厂生产管理的智能化、集

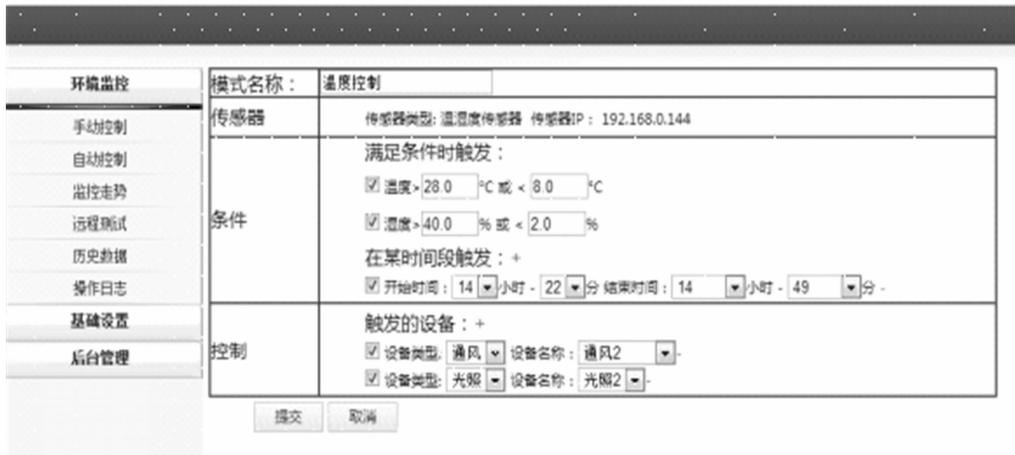


图7 智能农业手动控制界面



图8 远程调试界面

约化。本研究设计是基于陕西省渭南市华州区智慧农业植物试点项目进行的,通过建立物联网自动感应和控制系统,促进了精细农业生产的环境控制和过程控制的精细化,系统设计能够满足现代绿色农业生产需求,提高农业生产的稳定性,降低植物工厂生产模式中的能源消耗成本,提高生产质量和生产效率,为品质作物的量化生产和标准化管理提供平台保障。

#### 参考文献:

- [1] 杨其长. 植物工厂现状与发展战略[J]. 农业工程技术, 2016, 36(10): 9-12.
- [2] 赵立军, 陈亚, 孔阳阳, 等. 太阳光利用型植物工厂的设计与试验研究[J]. 农机化研究, 2018, 40(1): 114-119.
- [3] 张浩伟. 基于智能控制和云平台技术的远程植物工厂系统研究[D]. 天津: 天津工业大学, 2017.

- [4] 陆国华. 微型植物工厂营养液调控系统的设计[J]. 电子测量技术, 2017, 40(3): 63-67.
- [5] 张浙烽. 工厂化蔬菜气雾栽培营养液供给自动监控关键技术及系统[D]. 杭州: 中国计量学院, 2015.
- [6] 龚瑞昆, 王鹏, 王海平, 等. 基于前馈补偿算法的温室系统解耦控制[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(5): 1188-1193.
- [7] 王纪章, 周静, 李萍萍. 基于Agent的温室作物生长过程模拟系统[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(3): 557-562.
- [8] 刘志刚, 徐勤超. 基于辐热积的温室微灌基质栽培生菜生长模拟[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(6): 1315-1319.
- [9] 阴国富, 朱创录. 基于物联网的精密温室环境管控系统研究[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(10): 491-493, 494.
- [10] 陈慧子, 石惠娴, 裴晓梅, 等. 太阳能光伏-地源热泵式供能植物工厂空调系统[J]. 建筑节能, 2013, 41(11): 1-8, 20.