

# 甘薯智能保鲜库的设计与实现

关丰<sup>1</sup> 徐践<sup>1,2\*</sup> 侯巩傲<sup>1</sup> 商浩东<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>北京农学院,北京 102206;

<sup>2</sup>北京市农村远程信息服务工程技术研究中心,北京 102206)

**摘要** 通过应用物联网技术,设计并实现了一款甘薯智能保鲜库,其具有自动化感知与控制、通风功能、消毒功能以及制冷降温功能,有效降低了甘薯烂窖率,延长了甘薯贮藏时间。

**关键词** 甘薯;智能保鲜库;储藏;自动化控制

中图分类号 S531 文献标识码 A

文章编号 1007-5739(2021)02-0203-04

DOI: 10.3969/j.issn.1007-5739.2021.02.082

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Design and Realization of Sweet Potato Intelligent Fresh-keeping Warehouse

GUAN Feng<sup>1</sup> XU Jian<sup>1,2\*</sup> HOU Gongao<sup>1</sup> SHANG Haodong<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Beijing Agricultural College, Beijing 102206; <sup>2</sup> Beijing Rural Remote Information Service Engineering Technology Research Center, Beijing 102206)

**Abstract** Through the application of the Internet of Things technology, a sweet potato intelligent fresh-keeping warehouse was designed and realized, which had automatic sensing and control, ventilation, disinfection, and refrigeration and cooling functions, the warehouse effectively reduced the rotting rate of sweet potato in warehouse and prolonged the storage time of sweet potatoes.

**Keywords** sweet potato; intelligent fresh-keeping warehouse; storage; automatic control

我国是世界上首屈一指的甘薯种植大国,甘薯种植面积占全球种植面积的60%左右,产量占全球产量的80%。甘薯既是粮食作物,又是饲料和工业原料作物,甘薯块根既可作为人们的主粮<sup>[1-2]</sup>,又是食品加工、淀粉和酒精制造工业的重要原料。甘薯收获后,种植户为了错开上市时间以便卖个好价钱,或是为来年的育苗做准备,都会选择储存甘薯。随着甘薯经济价值的深度开发,工厂化生产对延长甘薯贮藏期的要求越来越迫切,甘薯贮藏已经成为甘薯产业化的瓶颈。

国外甘薯产业并不是十分发达。首先,种植面积小,没有形成大规模产业链<sup>[3]</sup>;其次,人们未将甘薯作为日常食用的主食,这也抑制了国外甘薯产业的发展。由于生产数量少,基本上国外的甘薯都是即产即销,他们认为没有长时间储存甘薯的必要性。

国内多用深窖与单一保鲜库对甘薯进行存储<sup>[4]</sup>。在甘薯储藏过程中,往往涉及消毒杀菌、换气通风<sup>[5]</sup>、制冷保温等内容。以前,人们多用农药法对甘薯进行消毒,但这种方法烂窖率高且农药残留高。在现有的保鲜库中,制冷保温系统相对封闭,运转过程中不允许外界干扰,出现极端情况时易失控。例如:冻坏甘薯

或者部分甘薯温度过高导致腐烂;通风换气系统因其管路设计相对落后,不能及时有效地对甘薯库内的异常情况进行操控,也会导致烂窖率增高。总体来说,各个系统工作相对独立,不能联动工作,且没有一个集成的可视化系统供管理人员进行系统管理。

本文通过物联网手段将甘薯储藏过程中所涉及的通风、消毒、制冷等功能有机联结,设计并实现一套完整的智能甘薯保鲜库。该款保鲜库可以有效减少甘薯贮藏过程中的腐烂以及人为失误造成的损失,与此同时,还可以减少人力成本的支出,做到智能化、高效化。下位机通过对保鲜库内环境的温湿度、臭氧浓度、二氧化碳浓度的感知,加上相应的逻辑判断,自动化地对保鲜库内的相应装置进行操控,以达到让保鲜库内环境始终处于适宜甘薯储存的状态。

## 1 总述

综合以往甘薯储藏过程中出现的问题,本文所设计的智能型甘薯库,拥有完整的软、硬件物联网设备以及完整的通风换气系统,主要包括自动化感知与控制、通风功能、消毒功能以及制冷降温功能。

## 2 下位机设计

### 2.1 概述

保鲜库系统按照设备组成划分,可分为精创控制

\* 通信作者

收稿日期 2020-08-11

箱、保鲜库控制下位机、驱动控制箱、传感器和执行器等四部分。保鲜库系统按照功能划分,可以分为制冷子系统、风调子系统、消毒子系统等三部分。

2.1.1 精创控制箱功能。驱动冷风机和压缩机,自带一个温度传感器,自带缺相保护、过流保护、本地手动及自动控制功能。

2.1.2 保鲜库控制器下位机功能。通过 485 总线与精创控制箱通讯,能以受控方式控制冷风机和压缩机;采集 2 路温度,2 路臭氧温湿度,1 路 CO<sub>2</sub> 传感器;4 路继电器输出,输出到驱动控制箱<sup>6</sup>。控制模式分为本地手动、本地自动、远程等 3 种。下位机是控制系统的核心,它采用 GPRS/WiFi 无线通信模块与远程服务器平台连接,完成远程监控控制功能及云端管理功能。

2.1.3 驱动控制箱功能。1 路漏电保护器,4 路 220 V 交流中间继电器,分别接臭氧发生器、循环风机、2 个管道阀门。

2.1.4 传感器和执行器。传感器包含温湿度二合一传感器、臭氧温湿度三合一传感器、CO<sub>2</sub> 传感器。执行器包含臭氧发生器、风阀(管道阀门)、循环风机、制冷风

机、压缩机。

2.1.5 制冷子系统。制冷子系统主要由精创控制箱、制冷风机、压缩机三部分组成。精创控制箱可以在手动和自动状态工作,其中自动状态可以分为受控模式和非受控模式。

2.1.6 风调子系统。风调子系统由管道阀门和循环风机组成。风调系统分为内循环和外循环,制冷和消毒状态工作在内循环状态<sup>7</sup>;通风工作在外循环状态。

2.1.7 消毒子系统。消毒子系统主要由臭氧发生器组成,由通风系统配合。

### 2.2 设计框图

系统组成框图如图 1 所示。

## 3 上位机设计

### 3.1 总体框架

系统总体框架图设计选用的是 Visio 工具,目的是为了清晰地看到系统的大致模块划分(图 2)。

### 3.2 最终目的

用户可通过网页端,用带有身份权限的用户名和密码登录系统。通过网页实时的数据反馈,对保鲜库

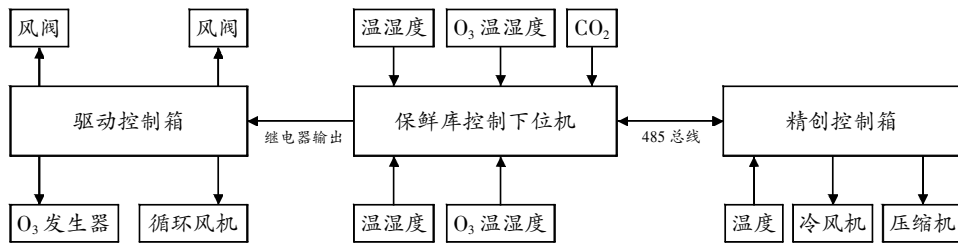


图 1 保鲜库系统组成框图

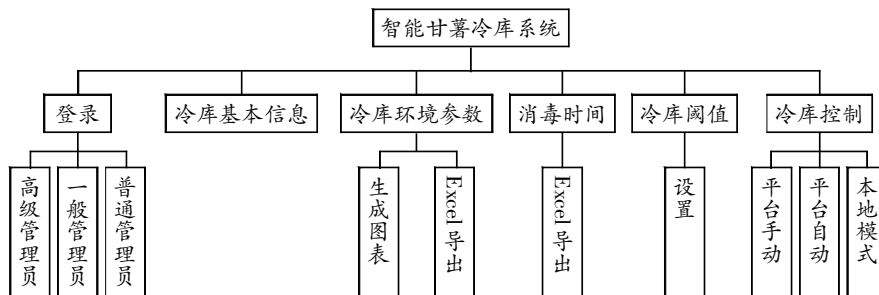


图 2 上位机系统总体框图

内的环境进行实时监控和控制。用户可在网页上看到上部区域的左部分有保鲜库编号、保鲜库的在线状态和保鲜库当前模式。用户在中部区域可看到当前保鲜库的阈值,包括保鲜库编号、当前温度上下限、湿度上下限、二氧化碳浓度上下限和臭氧浓度上下限<sup>8-10</sup>。在上部区域的右部分,可以看到当前保鲜库各个设备的开关状态,各个传感器是否正常,以及上次消毒时间。当臭氧设备开启时,会在上次消毒时间的上方提示用户正在臭氧消毒,禁止进入;若臭氧设备处于关闭状

态,但保鲜库内仍有臭氧浓度,则提示用户臭氧有余留,禁止进入;若臭氧设备处于关闭状态且无臭氧浓度,则不提示。用户可以点击时间选择框选择要查看的时间区间,点击搜索数据即可看到当前保鲜库在指定时间范围内的数据,并在下方以表格方式分页展示出来,1 页最多展示 10 条数据。展示数据包括时间、室内温度、薯堆上部温度、薯堆中部温度、薯堆下部温度、室内湿度、薯堆上部湿度、薯堆中部湿度<sup>11-12</sup>、薯堆下部湿度、室内臭氧浓度、薯堆臭氧浓度和二氧化碳

浓度。

为方便用户对查询到的数据进行一系列操作和处理,系统设计了导出数据、生成图表和导出消毒记录等功能。管理员点击导出数据,即可将符合查询范围和条件的数据写入 Excel 文件,并直接从浏览器下载下来。导出消毒记录,也是同样操作。用户点击生成图表,即可生成以时间为横坐标、以参数为纵坐标的折线图,并在下方展示出来。

#### 4 通风及管路设计

在本保鲜库的通风相关设计中,涉及关于利用内、外循环进行加速空气流动,增强降温效果、消毒效果以及通风换气,降低二氧化碳浓度等方面的管路设计。

其大致的运作原理如图 3 所示。其通过一台固定功率(固定通风量)的管道风机,将库内空气从下方抽出,经管道排到室外或循环至室内对角位置进行送回。其可以有效改善薯堆中心温度高,以及臭氧消毒过程中薯堆中心不能有效消毒的现象。

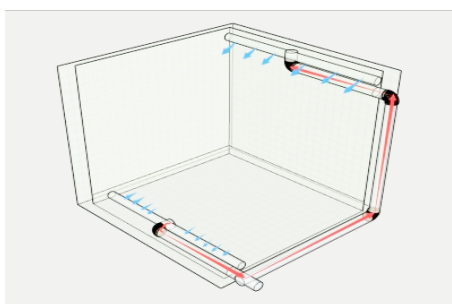


图 3 通风管路示意图

##### 4.1 设计原则

(1)保证管风机风量,可以在 2~3 min 内,将库内气体循环 1 遍。

(2)主管开孔大小会影响管道风机的工作效果。应保证在主管路开孔时,开孔的总面积与主管路的管径大小有相应的关系;否则,会引起送风量减小或者

边缘孔洞负压过小。

(3)保证各孔之间有相应的计算公式,可以保证各开孔之间,其流量大小应该在一定范围内保持一致,不然会引起换气不均的现象。

##### 4.2 试验设计

**4.2.1 设计原理。**本通风管路设计中,采用的是定量测时法,选用固定体积的气袋,将其接入相应的位置,测量其放空或者充满的时间,做 10 次无特异点的单独试验,取其平均值。所计算出的时间则可以对应这一处管路的单位时间流量。时间越少,流量越大;时间越多,流量越小。

**4.2.2 试验项目。**①管道风机空载运转,测量风量;管道风机接入通风系统,测量并验证孔洞面积和与主管路面积之间的关系。②测量各孔洞的风量,是否在一定范围内保持一致。

##### 4.3 孔洞半径的确定

根据空气动力学公式,见式(1),气体单位时间内流量等于气体的单位时间流速乘以管路截面积:

$$Q = \pi R^2 \times V \quad (1)$$

管道风机的总通风量为  $Q$ ,根据开孔数量  $N$  的不同以及设计需求,单孔的通风量均相等,其数值大小可根据式(2)得出:

$$Q_i = \frac{Q}{N} \quad (2)$$

故可以根据式(1)、式(2)推出式(3):

$$r_i = \sqrt{\frac{Q_i}{V_i \times \pi \times 3600}} \quad (3)$$

则

$$r_1:r_2:r_3:\dots:r_n = 1:\frac{1}{\sqrt{2}}:\frac{1}{\sqrt{3}}:\dots:\frac{1}{\sqrt{N}}$$

##### 4.4 部分试验数据

用固定体积空气测量各孔洞通风时间的数据记录见表 1。

因此,当得到某保鲜库体体积大小后,即可按照

表 1 固定体积空气测量各孔洞通风时间

项目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
孔 1	10.75	9.58	9.26	9.55	9.95	10.33	11.32	10.32	10.55	10.32	10.19
孔 2	10.32	10.35	10.22	9.18	9.19	9.18	10.95	9.18	9.65	10.55	9.88
孔 3	10.39	10.32	10.65	9.35	9.38	10.95	10.32	10.32	10.33	9.95	10.20
孔 4	10.82	10.22	9.99	10.32	10.62	9.57	9.85	10.21	10.01	9.65	10.13

通风量需求,计算出其风机的选型要求。通过对风机的选型,可以确定库中管路所需的管道直径。管道通风方式采用双侧通风管道,其稳定性更好。管道在库内最长的一边进行安置,其开孔数量应等于其长度(以米为单位,向上取整);对其进行孔洞大小计算时,

应考虑管道直径与孔洞数,先用单侧 4 孔的公式进行计算,最后再将其进行双孔化。

##### 5 自动控制逻辑设计

自动逻辑的设计初衷,就是使智能甘薯保鲜库能够在无人看管的情况下正常工作,储存红薯并保证其

储存率,降低其烂窖率。

本自动控制逻辑设计,通过对各种情况包括极端情况下的各种数据进行分析,将其模块化、流程化,并进行总结梳理之后,形成一份有效易读的自动控制逻辑图,便于相关软件开发人员进行程序编写。

### 5.1 模块化处理

对所有的功能进行归纳分类,其可分为3种类型:安全性相关、降温相关、通风相关。

当收到相关数据时,将数据在各模块中依次进行判断,最后可以得到相应的处理方式,设备可以通过指令下发,自动操控相关设备,对甘薯库内的生理环境进行改变(图4)。

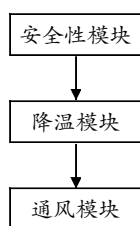


图4 模块逻辑图

**5.1.1 安全性模块。**①在甘薯库设计中,使用臭氧对甘薯进行杀菌消毒,提高储藏效果。臭氧虽然可以自然分解,但是消毒时或者消毒后的高浓度臭氧吸入人体后,会产生一定的危害。因此,为了保证工作人员的安全,在臭氧消毒或者臭氧浓度过高时,禁止入库,禁止打开通风系统。②在甘薯降温过程中,为了保证甘薯不会因为温度过低而冻坏,设计了防冻的相关功能。当某处甘薯的温度过低时,系统会强制停止制冷,开启内循环的相关功能,使整个甘薯堆的温度变均匀。

**5.1.2 降温模块。**降温模块中有两部分,其分别有不同的工作原理。①当甘薯所有部位都处于适宜温度范围时,制冷系统自动启停,可以使整个库体都处于适宜温度范围内。②当甘薯中心(甘薯有呼吸作用以及自发热现象)温度超过安全范围,但是制冷系统没有识别到此现象时,系统会强制开启制冷系统,使整体温度下降,让全部甘薯都处于安全温度范围内。

**5.1.3 通风模块。**①二氧化碳。当二氧化碳浓度高于一定值时,会加速甘薯腐烂过程。在系统中,当检测到二氧化碳浓度达到某个危险阈值时,会开启通风。②湿度。当湿度高于一定值时,会导致甘薯更容易生长菌类,加快甘薯腐烂。因此,在系统中,当检测到湿度达到某个危险阈值时,会开启通风。

### 5.2 整体逻辑梳理

通过对模块的系统梳理,可以看到安全性>降温>通风。首先,保证工作人员的安全;其次,保证甘薯储存效果。在甘薯的实际储存过程中,其温度对甘薯的储存效果影响最大,其次是二氧化碳和湿度的影响。此自动控制逻辑,可以同时应用于上下位机,让保鲜库在无人操控时也可以完好地运行,保证甘薯的储存效果。

### 6 结语

后期通过各项试验,验证了其消毒、通风换气、制冷保温等方面的有效性与可靠性。通过现代化物联网手段,应用农业信息化技术,将其与物联网网络相结合,搭建了配套的管理平台,可供管理人员远程实时巡查,实时操控,大幅降低了人力成本以及物力成本,并且拥有可靠的数据储存中心,可长时间保存数据供管理人员查看。不但如此,在自动模式下,系统也可以进行准确的环境感知,同时进行高效快捷的响应,多管齐下,以保证甘薯储藏环境的良好,延长甘薯储藏时间,降低烂窖率。此甘薯保鲜库基本实现了预期,达到了设计目的。

### 7 参考文献

- [1] 张立明,王庆美,王荫墀.甘薯的主要营养成分和保健作用[J].杂粮作物,2003(3):162-166.
- [2] 刘庆昌.甘薯在我国粮食和能源安全中的重要作用[J].科技导报,2004(9):21-22.
- [3] 马代夫.世界甘薯生产现状和发展预测[J].世界农业,2001(1):17-19.
- [4] 马代夫,李强,曹清河,等.中国甘薯产业及产业的发展与展望[J].江苏农业学报,2012,28(5):969-973.
- [5] 孙书军,周志林,张安,等.影响甘薯种薯安全贮藏的主要因素及防控技术[J].农业开发与装备,2020(6):192-193.
- [6] 宋鹏飞,杨利然.单相多分支并联管路流动特性研究与设计[J].炼油技术与工程,2020,50(3):42-47.
- [7] 陈曦,王军,毕文峰,等.设计参数对冷库地坪通风防冻系统性能的影响研究[J].低温与超导,2016,44(10):58-61.
- [8] 徐港明,韩英,万能,等.臭氧在农产品贮藏保鲜上的研究进展[J].安徽农业科学,2015,43(20):275-277.
- [9] 糜南宏,谢葆青,屈弘,等.臭氧杀菌技术在蔬果大棚应用新方法研究[J].农机科技推广,2013(6):44-46.
- [10] 殷俊峰,谢春萍,王林坤,等.甘薯节能气控保鲜技术及其效益分析[J].现代农业科技,2009(12):269.
- [11] 徐公纯,钮福祥,杨辉,等.甘薯自动控温控湿规模贮藏节能保鲜库的研究[J].山西农业科学,2010,38(2):71-72.
- [12] 庞杰,冯彤,于新,等.甘薯软库贮藏保鲜及其机理研究[J].长江蔬菜,1998(1):25-27.