

# 亳菊恒温烘干系统双闭环PID控制设计

蒋伟<sup>1</sup>, 吕洪善<sup>1</sup>, 夏成凯<sup>1,2</sup>

(1.亳州职业技术学院, 安徽 亳州 236800; 2.亳州中医药研究所, 安徽 亳州 236800)

**摘要:**在对亳菊进行干燥时,为了保证其有效成分含量最高,同时降低物料烘干的能耗,设计了一种采用双闭环PID控制的恒温控制系统,由供热系统、储热系统、烘干系统和监控系统4部分组成。内环PID目标值和测定值分别进变频器2和4号端子,运算后操作量作用于空气能热泵,实现水箱水温调节;外环PID室内温度设定值和测量值分别进FX3U-3A特殊适配器模拟量通道,PLC运算后输出量控制SSR的通断,驱动烘干室风机运行,实现恒温烘干需求。

**关键词:**亳菊;双闭环PID控制;恒温烘干

**中图分类号:**TP273 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-1891(2020)04-0049-04

## Control Design with Double Closed Loop PID for Bozhou Chrysanthemum's Constant Temperature Drying System

JIANG Wei<sup>1</sup>, LYU Hongshan<sup>1</sup>, XIA Chengkai<sup>1,2</sup>

(1.Bozhou Vocational and Technical College, Bozhou, Anhui, 236800, China;

2. Bozhou Institute of Traditional Chinese Medicine, Bozhou, Anhui, 236800, China)

**Abstract:** In order to ensure the highest content of effective components and reduce the energy consumption in drying process, a constant temperature control system with double closed-loop PID control is designed, which is composed of heating system, heat storage system, drying system and monitoring system. The target value and measured value of inner loop PID are respectively fed into terminal No.2 and terminal No.4 of the frequency converter. After calculation, the operation amount acts on the air energy heat pump to realize water temperature regulation of the water tank. The temperature setting value and measurement value in the outer loop PID room are respectively put into the analog channel of a special adapter FX3U-3A. After PLC calculation, the amount of the output controls the on-off switch of SSR, which drives the fan in the drying room to operate, and realizes the constant temperature drying demand.

**Keywords:** Bozhou chrysanthemum; double closed loop PID control; constant temperature drying

## 0 引言

亳菊,又称之为白菊,产于安徽亳州,与贡菊、杭菊和滁菊称为“四大名菊”,是药用价值极高的菊科植物,花朵较松,容易散瓣是亳菊的重要特点之一<sup>[1]</sup>。亳菊在储存前要进行干燥处理。传统的干燥方法有阴干法,阴干处理亳菊的优点是有效成分含量高,但时间较长易返潮,无法满足大量药材快速干燥的要求。传统的烘干工艺采用先蒸熟后晒干的方法,但晾晒完全依靠天气条件,且部分花瓣过分干燥容易造成瓣片脱落,不能保证花的颜色,后

期保存也易生虫,干燥后的菊花质量达不到要求。

如何保证亳菊的有效成分含量最高的前提下,降低物料烘干的能耗是该领域研究的热点课题。曹艺等<sup>[2]</sup>选取农作物作为研究对象,设计了基于单片机为控制核心的恒温控制系统,通过仿真和实验验证了太阳能热泵机组烘干效率的提升和工艺稳定性。但是对于中药饮片加工企业来说,烘干只是该自动化生产链的其中一个环节,选取单片机作为控制器,系统集成和组态不是很方便。于洋等<sup>[3]</sup>选取枸杞作为研究对象,为了改善物料烘干的品质,仿真论证了物料托盘间距和倾斜角度、进风口位置

**收稿日期:**2020-07-07

**基金项目:**2019年安徽省高等学校自然科学研究项目(KJ2019A1182);安徽省级教学团队项目(2019cxtd050);安徽省级教学研究项目(2019jyxm0655)。

**作者简介:**蒋伟(1982—),男,安徽亳州人,副教授,硕士,研究方向:电力电子与电力传动。

等机械结构优化设计对烘干室内流场分布的均匀性影响。迟项等<sup>[4]</sup>选取木材作为研究对象,围绕太阳能-空气能干燥设备选取不同的集热介质,进行系统性能测试和干燥过程能耗分析。本设计将太阳能集热器和空气能热泵有机结合在一起,加装以 PLC 为核心的智能控制器,使烘干温度控制在 70 ℃ 恒温,节能的同时保证烘干工艺的稳定性,经试验研究,该设计满足亳菊烘干工艺的高品质需求。

### 1 亳菊恒温烘干系统总体设计方案

亳菊恒温烘干系统主要由供热系统(包括太阳能集热器和变频器控制的空气能热泵机组)、储热系统(把纯净水作为传热介质的循环水箱)、烘干系统、监控系统(采用 MCGS+PLC+传感器)等 4 部分组成(图 1)。太阳能集热器和变频空气能热泵并行连接,可同时为循环水箱提供热量。加装了变频器的空气能热泵机组能够以不同的工作频率来适应各种复杂的天气,使得该系统更节能。末端循环水泵抽取循环水箱里的热水,流经烘干室内的散热片,由供热风机将热量吹向放有亳菊的板房货架,实现烘干的目的。监控系统采用三菱系列的 PLC 和 MCGS 组态控制,根据季节和天气情况,PLC 程序算法自动切换太阳能集热器加热或空气能热泵机组加热,以实现最大程度的节能。

根据以上设计思路,当系统处于冬季阳光条件不佳或水箱水温不能满足烘干条件时,PLC 控制变频空气能热泵机组开始工作。本文重在论述该子系统的硬件设计、变频器参数设置以及双闭环 PID 控制的设计方法<sup>[5-9]</sup>,核心问题解决烘干室环境温度、循环水箱水温和烘干温度设定值三者之间的数值时间变化关系,让该恒温烘干系统运行起来更稳定、更快速和更准确。

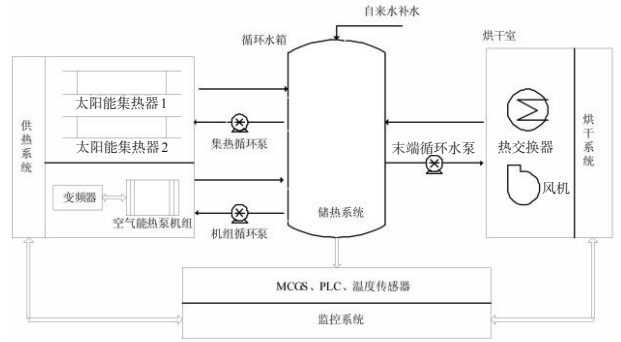


图 1 亳菊恒温烘干系统结构

### 2 变频空气能热泵子系统硬件设计

亳菊恒温烘干变频空气能热泵子系统的硬件如图 2 所示,控制器采用三菱 FX3U-32M 系列 PLC,变频器采用 FR-D740 系列,上位机采用 MCGS 7 寸彩色液晶触摸屏控制。

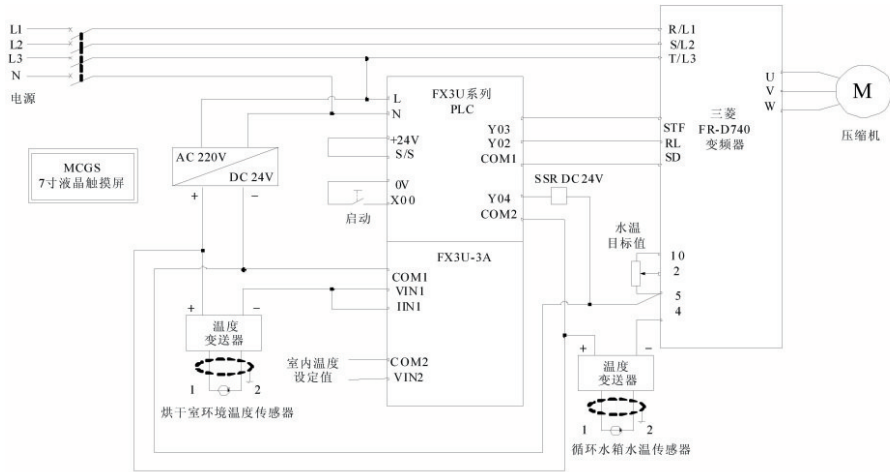


图 2 变频空气能热泵子系统硬件

内环 PID 控制构成为:水温目标值可以模拟设定进变频器 10、2、5 端子,或者在触摸屏数字设定 2 种方式,温度变送器将循环水箱水温转换为电信号,送至变频器 4 和 5 端子,STF 作为变频器正转启动信号,RL 作为内环 PID 使能信号,变频器将根据 PID 运算量控制压缩机的转速,从而实现控制循环水箱水温的目的。

外环 PID 控制构成为:烘干室室内温度设

定值送至 FX3U-3A 特殊适配器模拟量输入第 2 通道,或者在触摸屏数字设定 2 种方式,温度变送器将烘干室环境温度转换为电信号,将其送入模拟量第 1 通道,运用 PLC 自带的 PID 指令进行运算处理后,控制固态继电器 SSR 的通断,驱动烘干室风机运行,实现最终控制烘干室环境温度的目的,实现方法可参考蒋伟等<sup>[10]</sup>的研究。

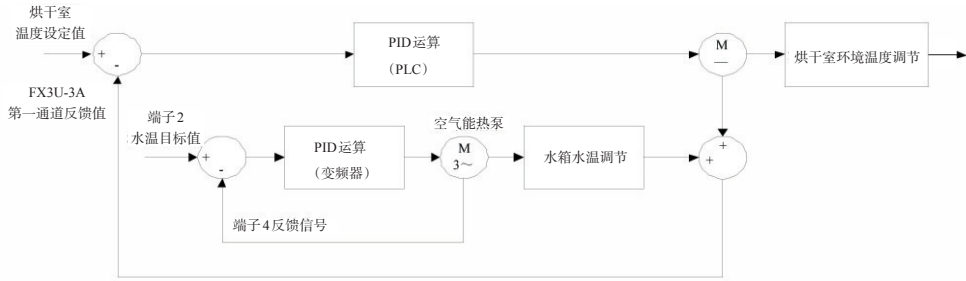


图3 双闭环PID控制结构

### 3 系统的软件设计

#### 3.1 PID控制策略

PID运算是闭环控制中较成熟的调节方式,它在改善控制系统品质,保证系统偏差 $e$ (设定值和过程变量的差)达到预定指标,使系统实现稳定状态方面具有良好的效果。PID控制器由比例(P)、积分(I)和微分(D)控制组成,其输出 $u(t)$ 与输入 $e(t)$ 的关系为式(1):

$$u(t) = K_p \left[ e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (1)$$

式(1)中, $K_p$ 为比例系数, $T_i$ 为积分系数, $T_d$ 为微分系数。

传递函数为式(2):

$$G(S) = \frac{U(S)}{E(S)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i S} + T_d S \right) \quad (2)$$

式(2)中, $U(S)$ 为输出量的拉普拉斯变换, $E(S)$ 为输入量的拉普拉斯变换, $S$ 为微分算子。

该系统中的内环PID动作即为变频器的操作量,本控制中需要PID采用反作用进行调节,即当偏差 $X=(\text{目标值} - \text{测量值})$ 为正时,变频器增加操作量(输出频率),如果偏差为负,则减小操作量(图4)。

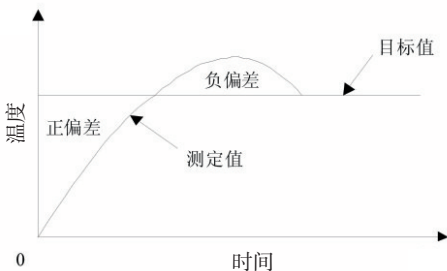


图4 变频器操作量随偏差变化关系

#### 3.2 变频器PID控制参数设置

FR-D740变频器有外部指令信号、操作面板、PU与外部组合以及网络运行等多种运行模式进行选择,本设计中采用外部/PU组合运行模式,即频率指令是通过端子4外部信号输入进变频器,启动指

令通过PLC的输出端子接变频器的STF正转启动端子来实现。要进行PID控制,设定PID动作选择参数Pr.128=“20”,向变频器的端子2中输入目标值,端子4输入测定值,PID为负作用。将接点输入端子RL对应的功能选择参数Pr.180设定为“14”,当X14信号为ON时,使PID控制有效(表1)。

表1 变频器参数设置

序号	变频器参数	出厂值	设定值	功能说明
1	P 1	120	50	上限频率(50 Hz)
2	P 2	0	0	下限频率(0 Hz)
3	P 7	5	5	加速时间(5 s)
4	P 8	5	5	减速时间(5 s)
5	P 9	2.5	2.5	电子过电流保护(2.5 A)
6	P 160	9999	0	扩张功能显示选择
7	P 79	0	3	操作模式选择
8	P 180	0	14	PID控制有效端子
9	P 128	0	20	PID动作选择
10	P 129	100%	25%	PID比例带
11	P 130	1 s	34 s	PID积分时间
12	P 131	9 999	100%	PID上限设定值
13	P 132	9 999	0%	PID下限设定值
14	P 133	0%	80%	PU操作时的PID设定值
15	P 134	9 999	3.33 s	PID微分时间

#### 3.3 空气能热泵内环PID控制参数整定

空气能热泵内环PID控制子系统中,如将循环水箱水温设定为80℃,温度变送器0~100℃对应4~20mA电流信号,所以目标值的百分比换算对应关系为80%。

分别对目标值输入(0~10V)和变送器输出(4~20mA)进行校正后,将目标值设为80%,即向端子2输入8V电压(电位器)。运行时先将比例带(Pr.129)稍稍增大,积分时间(Pr.130)稍稍延长,微分时间(Pr.134)设定为“9 999”,然后观察系统的动作,在测定值稳定的前提下,尝试着慢慢减小比例带、缩短积分时间或延长微分时间。反之,如果系统出现振荡、偏离目标值波动周期比较长的情况,可增大比例带、延长积分时间和缩短微分时间,向

表 2 实验模型设备参数

名称	数量	主要参数
空气能热泵机组	1	额定功率 3.75 kW
循环水箱	1	容积约 1.5 m <sup>3</sup>
太阳能集热器	2	日产 55 °C 热水 1 t
烘干室	1	实用体积 8 m <sup>3</sup>

假设冬季工况下,某时段太阳能集热器出水温度 55 °C,程序设定循环水箱温度为 75 °C,内环热泵机组变频器 PID 调速变化曲线如图 6 所示。

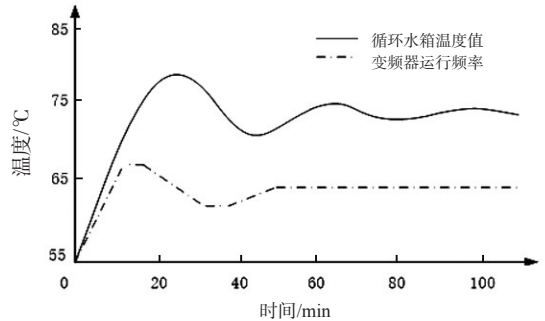


图 6 热泵机组变频器调速变化

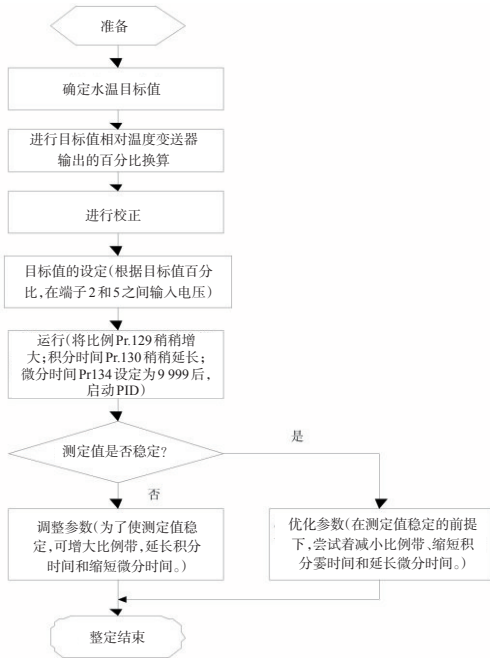


图 5 内环变频器 PID 控制参数整定流程

反方向调整,最终整定 PID 控制参数到最优,参考值为 Pr.129=25%, Pr.130=34 s, Pr.134=3.33 s。内环变频器 PID 控制参数整定流程如图 5 所示。

### 4 实验测试

为验证该系统的控制效果,实验设定太阳能温度、循环水箱温度和烘干室温度,模拟不同的季节和天气状况,观察记录太阳能集热器和热泵机组切换运行情况、内环热泵机组变频器 PID 调速情况以及外环烘干室风机 PID 恒温控制运行情况。实验模型主要设备参数参考表 2。

### 参考文献:

- [1] 吕洪善,杨清志.基于中药材烘干技术的太阳能-热泵联合恒温控制系统设计[J].商丘师范学院学报,2019,35(9):24-27.
- [2] 曹艺,吴永明,刘毅.太阳能热泵烘干机恒温控制系统设计与仿真[J].机械设计与制造,2017(10):140-143.
- [3] 于洋,陶向前,李若兰,等.基于有限元的枸杞烘干机结构参数优化与分析[J].农机化研究,2021(1):234-240.
- [4] 迟项,刘冰,杜信元,等.木材太阳能-空气能联合干燥设备的集热介质选择及能耗[J].东北林业大学学报,2020,48(8):107-111.
- [5] 齐文超,李彦明,张锦辉,等.丘陵山地拖拉机车身调平双闭环模糊 PID 控制方法[J].农业机械学报,2019,50(10):17-23.
- [6] 侯择尧,祁宇明,冯玉飞.基于双闭环控制的平衡车惯性导航算法分析[J].设计与研究,2019(5):11-13.
- [7] 张惠琳,李醒飞,杨少波,等.深海自持式智能浮标双闭环模糊 PID 定深控制[J].信息与控制,2019,48(2):202-208.
- [8] 刘凯.基于 BP 神经网络的四旋翼双闭环 PID 轨迹跟踪控制[J].工业控制计算机,2018,31(11):62-63.
- [9] 阮晓钢,刘桐.一种球形轮机器人双闭环非线性 PID 控制方法[J].中国科技论文,2018,13(20):2301-2308.
- [10] 蒋伟,谢斌,吕洪善,等.中药炮制机械智能炒药机温控系统设计[J].湖南理工学院学报(自然科学版),2014,27(4):58-62.

### 5 结论

采用双闭环 PID 控制的毫菊恒温烘干系统,能够根据季节和天气情况,自动切换太阳能集热器加热或空气能热泵机组加热。重点论述了变频空气能热泵机组子系统的硬件设计、变频器参数设置以及 PID 控制参数整定方法。相较于传统的烘干机控制系统,本设计具有更高的烘干效率,能耗更低,控制系统的调节品质更好,可推广到其他品种中药材的烘干应用中。