

农业物料干燥试验中热风参数的自动调节

王庆祝¹, 毛志怀², 杨 柳², 李 栋², 刘荣昌¹

(1 河北科技师范学院机电工程系, 昌黎 066600; 2 中国农业大学工学院, 北京 100083)

摘 要: 针对农业物料干燥机理研究的需要, 设计研制了一套计算机测控的物料干燥试验装置。该试验装置是一个调温、调湿、调速供风系统, 通过对空气的温度、湿度、流速的调节和控制, 为模拟多种物料实际干燥工况提供条件, 同时在线测量物料的质量和温度, 最终确定了最佳干燥工艺及物料传热、传质特性。

关键词: 干燥机理; 计算机测控; 干燥试验装置

中图分类号: S375; TP273.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)05-0151-04

0 引言

虽然干燥工艺的应用已有较长历史, 取得了不少进展, 但由于物料形状千差万别, 干燥方式又较多, 描述干燥过程多为经验模型或半理论模型^[1], 因此确定工艺及参数必须更多地借助于试验手段。试验装置是为以对流为主的物料干燥特性、干燥机理、干燥工艺研究提供模拟干燥环境条件的条件(介质的流速、温度和湿度), 合适的试验装置是得到准确、可信的试验数据的前提。对于微机测控干燥试验台国内外已有一些研究^[2,8,9], 但多为人工或半人工测控, 且基本无法模拟低湿条件。本试验装置通过对干燥介质的温度、流量、湿度(加湿和除湿)的实时控制, 同时对试验物料的质量和温度的在线测量, 既可模拟各种气候的干燥条件, 又能模拟厚层物料中不同高度处物料层的干燥。

1 工作流程

试验装置是一个基于工控机的调温、调湿、调风量的开式供风系统(图1), 工作流程是外界环境空气被调速后的风机吸入, 经除湿段、加热段及加湿段的调节后, 达到所要求的温湿度, 然后进入测速段, 均匀地通过物料。物料脱去的水分由电子天平精确测得。测量段前后介质的温、湿度由干、湿球热电偶测定; 介质的流速由蜗街流量传感器测定; 物料内部及外表面的温度由预先敷设的热电偶测定。在干燥结束后, 可生成介质流量、温度和湿度以及物料的脱水量和温度及干燥时间等其它一些数据的报表, 并可通过打印机输出或进行数据处理。

2 试验参数调节系统的设计

2.1 基本构成

试验装置由风道本体、风机驱动机组、空气加热、加湿、除湿处理系统及测控系统组成。1) 风道本体包括: 试验段、加热段、加湿段、除湿段、流量测试段等; 2) 风机驱动机组包括: 风机、电机、变频器; 3) 空气加热、加湿、除湿处理系统包括: 电加热管、超声波加湿器、制冷除湿装置、功率调节装置; 4) 测控系统包括: 热电偶测温系统、蜗街流量测试系统、称重系统、工控系统、空气压力测量

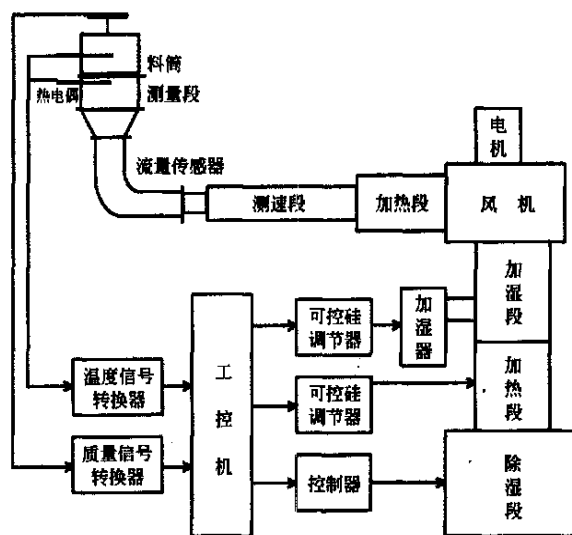


图1 试验装置结构示意图

Fig. 1 Configuration of experimental equipment

系统等。

2.2 基本参数的确定

物料干燥要求干燥介质的温度、湿度及流速在一定范围内可调, 以模拟实际干燥室工况, 并可测定物料的温度、含水率变化曲线及干燥介质的温度、湿度及流速的变化规律等。考虑到试验的对象、方便性和可操作性, 制定以下基本设计要求和指标:

试验段尺寸: 垂直段(料筒)直径 150 mm, 长度 300 mm; 水平段长 800 mm, 宽 160 mm, 高 120 mm。

环境参数(室内): 温度范围 15~30; 湿度范围 40%~70%^[3]。

干燥介质参数: 温度范围, 常温~180 ± 0.5; 湿度范围, (20%~90%) ± 3%; 风速范围, (0.4~5.0) m/s ± 0.1 m/s。

2.3 主要试验参数计算

2.3.1 风量

本试验装置风速范围为 0.4~5.0 m/s, 试验截面: 垂直段直径 150 mm, 水平段为 160 mm × 120 mm, 则相应流量为 25~320 m³/h 和 27~346 m³/h, 而常用风量小于 200 m³/h。

收稿日期: 2003-08-18 修订日期: 2004-05-22

作者简介: 王庆祝, 男, 讲师, 河北昌黎 河北科技师范学院机械电子系, 066600。Email: wqzh_chl@yahoo.com.cn

2 3 2 加湿器负荷

本系统采用开式运行方式,被处理的空气量即为需要得全部新风量。在试验时,根据试验需要将环境 ($t_1 = 20$, $RH_1 = 20\%$) 的空气,在较短的时间内加湿到 $t_2 = 30$ (加热后), $RH_2 = 70\%$,加湿器应根据这一最大负荷确定。

加湿量 空气参数变化过程查 I- d 图^[1],得到单位质量空气的加湿量 $\Delta d = d_2 - d_1 = 15.85 \text{ g/kg}$ (d, a),加入雾化水量 $\Delta W = 3804 \text{ g/h}$ 。

加湿器负荷 按 20% 的和裕量考虑,所需加湿器的负荷为 4.56 kg/h 。

2 3 3 除湿器负荷

根据试验需要将环境 ($t_3 = 30$, $RH_3 = 70\%$) 的空气,在较短的时间内除湿到 $RH_4 = 30\%$,最大可达到 $RH_4 = 20\%$,除湿器应根据这一最大负荷确定。

压缩机 据活塞式压缩机热平衡及 I- d 图,得压缩机的最大负荷为 2.01 kW 。

蒸发器传热面积 由 I- d 图及蒸发器面积计算公式^[4],得蒸发器面积为 6.97 m^2 。

2 3 4 加热器负荷

在试验时,根据要将外界环境除湿后 ($t_5 = 0$, $RH_5 = 25\%$) 的空气,在较短的时间内加热到 $t_6 = 150$,加湿器应根据这一最大负荷确定。

加热空气用热 经计算得 18.82 kW ,其中一级加热(小于 60) 为 7.53 kW 。

加热管道和设备用热 经计算得 31185 kJ ,实际过程中,干燥周期一般大于 8 h ,故此部分可忽略。

管道、设备散热 经计算(管道总面积 7 m^2) 得 0.41 kW 。

加热器负荷 考虑到加湿或除湿需要一部分热量及整个加热管的布置,且加热管要损坏,考虑到更换等原因,在加热段设置 24 kW 加热管。

2 4 主要工作部件的设计

2 4 1 调湿段及调湿器

在这种小空间环境的湿度调节是具有相当难度的问题,而且根据干燥试验工况的需要,有加湿和除湿两方面的问题需要解决。

加湿方法有水盘式、蒸汽喷注式、水雾喷注式、空气洗涤式、超声波加湿器等^[5]。考虑到常温下加湿性能及自动控制,采用超声波加湿器,其雾粒直径小而均匀,具有较好的时间响应特性。按确定基本参数计算用加湿量为 5 kg/h 的亚都 YC- L/5 型加湿器,将电路改造后,分为 5 档,并在其中一组换能片配有微调装置,可实现加湿量 $0 \sim 5 \text{ kg/h}$ 变化。

除湿 方法有升温、通风除湿、液体除湿、冷冻除湿、干式转轮除湿、固体除湿及混合除湿等^[5]。根据本试验特点,采用冷冻除湿,即应用制冷的原理,将空气中的水分冷凝出来,从而使空气的绝对湿度降低,主要是选择制冷机组和蒸发器。按确定基本参数计算压缩机组采用美国 24W CU-10AB 型低噪音全封闭试验用机组;采用 4 组套片式特制除湿用蒸发器。

在除湿量方面,在控制压缩机的启停的基础上,再采用除湿与加湿配合的方法,实现了湿度的无级调节。

2 4 2 加热段及电加热器

由于空气湿度不能仅通过除湿无级调节,要达到较高精度,需在一定的温度下由加湿来进行微调,并且直联式风机允许承受的最高温度为 80 ,按确定基本参数计算需功率 24 kW ,采用镍铬电炉丝,保护管外涂红外涂料,每根 2 kW 。加热分为两级,一级加热为 4 根电加热管,分为 3 档,布置在风机进风口,其中一组配有 $0 \sim 220 \text{ V}$ 调压装置,二级为 8 根电加热管,分为 5 档,布置在风机出风口,可实现加热管功率在 $0 \sim 24 \text{ kW}$ 变化。

2 5 自动控制系统

选用工控机和 ADAM 5000 系列测控模块及 FIX 组态软件来完成本系统功能(图 2)。

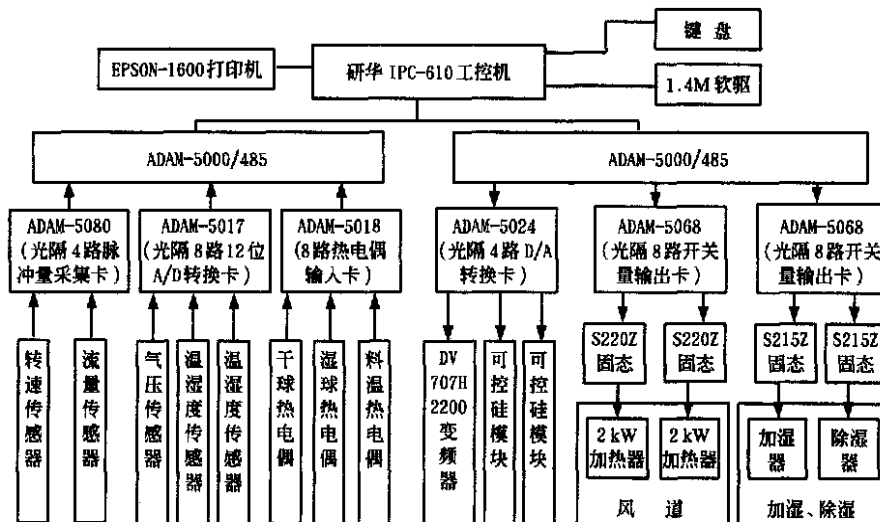


图 2 试验装置自动控制系统硬件框图

Fig 2 Diagram of hardware system for automatic control of experiment apparatus

2.5.1 流量的测量及控制

用北京昆仑海岸传感器公司生产的 LU GB 2-2305 型蜗街流量传感器, 其通过压电晶体元件检测漩涡分离频率。仪表常数 $K = 9293 \text{ 3 L/m}^3$, 斯特罗哈尔数 $S_r = 0.16$ 。变频器用西门子公司生产的 MMV 220/3 变频器。

工控机采集 LU GB 2-2305 型蜗街流量传感器频率信号, 经处理通过 RS-232 串口输出 4~20 mA 模拟信号, 控制 MMV 220/3 变频器, 而变频器与北京风机二厂生产的 Y90L-2 型电机相联, 从而实现风机的无级调速。

2.5.2 温湿度的测量及控制

温湿度测试元件 采用北京昆仑海岸传感器公司生产的镍铬-镍硅(K 型)热电偶, 制做及安装均严格按有关要求, 测量空气用 $D = 5 \text{ mm}$ 铠装, 而测量物料用 $D = 0.3 \text{ mm}$ 裸丝。全部热电偶在安装前经标定。

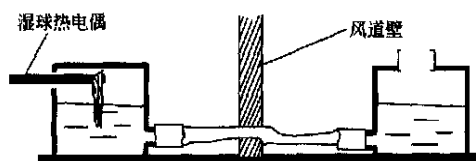


图 3 热电偶测湿布置图

Fig 3 Layout of measuring relative humidity for thermocouple

相对湿度的测量 湿球热电偶布置如图 3。饱和水蒸气压 P_b 可由下式求得^[6]

$$\lg P_b = 10.79574 \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) - 5.028 \lg \left(\frac{T}{T_0}\right) + 1.50475 \times 10^{-4} [1 - 10^{-8.2969} (T/T_0)] + 0.42873 \times 10^{-3} [10^{4.76955(1 - T_0/T)} - 1] + 0.78614 (\text{m bar})$$

式中 $T_0 = 273.16 \text{ K}$, $T = (T_0 + t_c) \text{ K}$, t_c ——空气(干球)温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

水蒸气分压力 P_s 与湿球温度 t_s 对应的饱和水蒸气压 P_{bs} 之间满足

$$P_s = P_{bs} - A(t_c - t_s)B$$

式中 A ——与空气流动速度(风速)有关的常数, $A = 0.00001(65 + 6.75/C)$; B ——大气压力, mbar; C ——风速, m/s。

$$\begin{aligned} \text{空气相对湿度 } RH &= \frac{P_s}{P_b} \times 100\% \\ &= \frac{P_{bs} - A(t_c - t_s)B}{P_b} \times 100\% \end{aligned}$$

温湿度控制 通过干、湿球热电偶测得介质的温度和湿度, 与设定值比较, 调节电加热管加热功率、加湿器的加湿量和压缩机组的启停, 通过 PD 算法控制介质的温度与湿度达到设定值。由飞升曲线确定的本系统 PD 控制算法计算公式

$$m(n) = m(n-1) + 1.516[e(n) - e(n-1)] + 0.39e(n) + 1.546[e(n) - 2e(n-1) + e(n-2)]$$

在现场调试时, 根据 PD 三作用各自的特点, 结合

实际得出 PD 控制算法的计算公式

$$m(n) = m(n-1) + 1.80[e(n) - e(n-1)] + 0.9e(n) + 1.68[e(n) - 2e(n-1) + e(n-2)]$$

温湿度单独调试时确定的控制算法不能直接用于温湿度同时调控。经多次调整后确定的温湿度控制过程三参数值分别为

温度: $K_p = 15.0, K_i = 0.50, K_d = 3.50$

湿度: $K_p = 7.50, K_i = 0.30, K_d = 2.00$

3 物料参数测量系统的设计

为研究物料的干燥特性, 进而确定最佳干燥制度及物料传热、传质特性, 需测量物料的干燥速率曲线、脱水曲线和升温曲线, 即物料的质量和温度的变化。

3.1 物料失重的测量

物料在干燥过程中, 不断失去水分, 其质量不断减少, 减少量即为脱去的水量。采用北京东四衡器厂带串口的电子天平, 量程为 1000 g, 感量 0.05 g, 与工控机连接。考虑浮力影响, 对垂直段拟合和浮力变化曲线(软件补偿)进行在线测量, 而水平段忽略浮力影响进行在线测量。

3.2 物料温度的测量

物料的温度用 0.3 mm 的热偶丝据物料的具体情况分 3 个测点进行测量, 如细小颗粒或粉状物料分上、中、下 3 层, 块状物料在外、内、中分别布置。

4 系统软件

本设计采用在组态王 5.1 软件上开发, 把现有的成熟的软件模块纳入系统, 即可节省大量的时间和精力, 又可提高软件的可靠性。整个软件由控制模块(通道参数的采集、控制等)和管理模块(参数输入、数据计算、显示、报表处理等)。在结构上由主界面、辅助界面、数据库组成(图 4)。

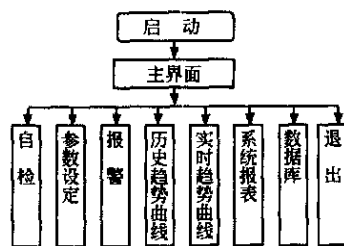


图 4 系统软件结构图

Fig 4 Structure of system software

4.1 系统主程序

主程序由各子程序组合而成, 子程序包括操作子程序和试验数据处理子程序, 主要有: 试验参数输入保存模块: 完成试验风速、温度和湿度的设定; 采样数据处理模块: 实现热电偶冷端温度补偿、标尺变换及对输入数据进行中位值平均滤波(本系统每次对每点采样 12 次^[7])等, 保证数据的真实可靠; 温、湿度输出参数优化控制模块: 完成温湿度解耦、加湿(除湿)量、加热量的调节; 流量输出参数优化控制模块: 完成对风机(电机)转速的调节; 试验过程监控模块: 完成试验参数报

警、显示及记录等功能; 自检模块: 判断各通道是否存在故障。

4.2 数据库

数据库是整个软件的核心, 不仅变量的定义、实时试验参数及历史参数的保存, 而且试验参数报警、报表、显示等都离不开数据库的支持。在组态王中, 可采用自身数据库, 也可以外挂任何其它数据库, 本系统采用 Microsoft Access 6.0 数据库。

4.3 动态链接

4.3.1 数据库与 I/O 设备的链接

在本系统中采用了 ADAM - 5000 系列 5018、5017、5024、5068、5080 等模块, 每个模块的各个通道都要唯一的 I/O 设备名(驱动程序)才能被数据库中的变量引用, 即数据库与 I/O 设备链接, 实现对试验参数的动态采集与控制。

4.3.2 数据库与界面的链接

试验参数的采集及控制效果、报警信息及实时(历史)报表, 要通过直观的数字、曲线等形式提供给操作者, 而这些都是通过组态王 SQL 与数据库相链接(如本系统中实时数据、实时趋势线的显示)。

4.3.3 界面内的链接

在同一界面内, 为生动表达各流程变化趋势的动画效果, 要进行动画连接(如本系统气体流量的增减); 在不同界面之间的切换, 也需要动画连接(如本系统主界面与辅助界面的切换)。

5 结 论

将超声波加湿器进行电路改造, 从而实现空气湿度

的无级调节。设计了一套小风量连续除湿系统, 其与加湿器配合使用可获得低湿的试验用风。调试结果表明: 该试验装置测量及控制程度较高, 可模拟多种物料的干燥工况, 满足进行多种物料干燥试验的要求。并可进行传热、传质的深入研究。

[参 考 文 献]

- [1] [美]R·B·基伊. 干燥原理及应用[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1986
- [2] 王修兰, 徐师华. 人参、西洋参干燥特性的研究[J]. 农业工程学报, 1991, 7(3): 62- 65
- [3] 电子工业部第十设计院. 空气调节设计手册[M]. 北京: 电子工业出版社, 1986
- [4] 朱瑞琪. 制冷装置自动化[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1994
- [5] 张子慧. 热工测量与自动控制[M]. 北京: 中国建筑出版社, 1996
- [6] 莫英干. 湿度测量[M]. 北京: 气象出版社, 1989
- [7] 李行善. 计算机测量与控制[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1990
- [8] 李洪江, 杨林清. 花生仁薄层干燥试验研究[J]. 农业工程学报, 1992, 8(2): 56- 57
- [9] 白崇仁, 谢秀英, 李敬欣. 胡萝卜丝热风干制参数的研究[J]. 农业工程学报, 1991, 7(4): 88- 93
- [10] 黎洪生. IBM - PC 兼容机用于实时控制的设计方法[J]. 微型机与应用, 1994, 10: 25- 27
- [11] 王恒升, 龙迎春, 郝宁生. 热处理炉组微机群控试验台的研制[J]. 数据采集与处理, 1997, 12(3): 210- 213

Automatic regulation of hot air medium parameters during the test of drying agricultural materials

Wang Qingzhu¹, Mao Zhihua², Yang Liu², Li Dong², Liu Rongchang¹

(1. Department of Machinery and Electronics, Hebei Normal University of Science & Technology, Changli 066600, China;

2. Engineering College, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to conduct the experimental study on the mechanism of drying agricultural materials, an industrial PC-based unit of experiment apparatus was developed. Hot air temperature, humidity and flow rate can be monitored and adjusted using this system. Through the adjustment and control of temperature, humidity and flow rate of dry medium air, basis and conditions can be provided for simulating different drying conditions for different kinds of drying materials, and weight and temperature of materials can be online measured, so as to confirm the optimum drying technology and the heat and mass transfer characteristics.

Key words: drying mechanism; computer aided measuring and controlling; drying experimental apparatus