

# 循环式粮食干燥机的智能控制系统

蒋 平<sup>1</sup>, 朱传祥<sup>1</sup>, 吕德志<sup>2</sup>, 高成冲<sup>1</sup>

(1. 南京工程学院机械工程系, 南京 211167; 2. 南京众鼎电子有限公司, 南京 210006)

**摘 要:** 为了有效地控制干燥机的温度、水分等因素, 提高干燥效率, 针对国内干燥机控制系统存在的不足, 设计出基于单片机和复杂可编程逻辑器件 CPLD 技术的一体化控制系统, 采用了温度、水分、仓位等多个传感器来检测有关信息, 进行干燥机的智能控制。该系统可完成温度传感器的设定, 水分传感器的校准和修正, 干燥机 15 项运行参数的设置, 能进行水分、温度和故障的自动检测与报警, 燃烧机的自动控制等。也可实时将测量的谷物水分值传送给计算机, 便于多台干燥机的集中监控, 及进行统计分析。该系统经实践检验, 实现了干燥机正常可靠的各项操作和多种干燥作业, 达到了高效干燥的智能化控制, 且系统易于扩展, 谷物品质好。

**关键词:** 单片机; 粮食干燥机; 智能控制; CPLD

**中图分类号:** S226.6; TP273+.5

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2006)11-0126-05

蒋 平, 朱传祥, 吕德志, 等. 循环式粮食干燥机的智能控制系统[J]. 农业工程学报, 2006, 22(11): 126-130.

Jiang Ping, Zhu Chuanxiang, Lü Dezhi, et al. Intelligent control system for circulating grain dryer[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(11): 126-130. (in Chinese with English abstract)

## 0 引 言

中国是世界上最大的粮食生产和消费国, 年总产粮食约 5 亿 t。据统计, 每年因气候潮湿, 湿谷来不及晒干或未达到安全水分造成霉变、发芽等损失的粮食高达 5%。采用机械干燥是挽回损失的最佳方法<sup>[1,2]</sup>。但是, 粮食的机械化干燥在中国发展较慢, 干燥设备的数量和质量与发达国家相比存在很大差距。据 1999 年统计, 中国大陆机械干燥的粮食仅占粮食总产的 4%, 而中国台湾省粮食机械干燥程度达 78%。日本水稻种植面积只有中国的 1/16, 但其干燥机却有 150 万台, 机械干燥程度达 95%<sup>[1,3]</sup>。

随着农产品深加工的发展, 农民收入的增加, 农业现代化进程的加快, 政府优惠政策的出台(购置 6~10 t 干燥机每台补贴 2 万元)<sup>[4,5]</sup>, 谷物干燥机的市场需求巨大, 前景广阔。

目前国内的粮食干燥设备多为大型, 而农民急需中小型干燥机<sup>[6-9]</sup>。1996 年起, 上海三九公司(台湾独资)和无锡金子公司(日本独资)生产的干燥机进入中国市场, 该类干燥机属于中小型, 尽管价格偏高, 但由于具有使用性能良好, 可靠性、自动化程度高等特点, 依然受用户的欢迎, 也是政府推广的干燥机, 市场前景看好。国内也有多家企业生产此类粮食干燥机。

随着技术的发展, 人们对干燥机的自动化程度要求越来越高, 以传感器、微控制器为核心的控制系统将广泛应用于粮食干燥机中, 实现粮食干燥机的智能控制将

是发展的趋势<sup>[10,11]</sup>。

目前, 台湾和日本企业生产的粮食干燥机, 采用了电脑自动控制系统。有十几个按键, 三十多个指示灯, 设置和控制还是比较复杂。国内已有人开展这方面的研究<sup>[12-16]</sup>, 控制电路所用芯片较多, 控制原理复杂, 方式固定, 设置的参数少, 没有时钟控制, 使用的是模拟量的温度传感器, 而且多用在大型干燥机上。国产的小型干燥机还没有实现电脑自动控制, 在此基础上, 研制开发了一体化的智能控制系统, 能够较好地完成对干燥机的控制。所用芯片少, 设置的参数多, 设置的参数断电不丢失, 有时钟控制, 使用数字温度传感器。不仅能在线测定谷物水分, 达到设定的水分值就自动停机, 而且当设定的烘烤时间到也能自动停机, 并可测量干燥机内 4 个测点的温度(可扩展到任意多个测点的温度), 还提供多路监测信号(最多 16 路), 超限报警, 操作简便, 控制可靠, 抗干扰能力强。该控制系统已被企业使用。

## 1 循环式粮食干燥机的作业流程

由于稻谷自身生物学特性决定了稻谷是较难干燥的谷物, 循环式粮食干燥机采用低温、大风量、多通道、干燥加缓苏的工艺进行干燥, 其作业流程见图 1。工作中, 粮食装入料斗, 经提升机送至干燥机顶部, 直到装满整个干燥机。干燥过程中, 谷物缓慢下落, 流经干燥部后由下搅龙送至提升机下部, 再由提升机向上输送, 由上搅龙横向均匀撒下, 经过一次干燥后的谷物在存储部一段时间后(缓苏), 再次流往干燥部受热干燥, 如此反复循环直到达到设定的水分值。下本体一侧装有以柴油为燃料的燃烧机, 燃烧机产生热量加热空气, 由装在下本体另一侧的排风机形成热气流。热气流通过干燥部的谷层, 带去谷物多余的水分, 使谷物得到干燥。可用于稻谷、小麦、玉米、高粱、黄豆等作物种子干燥, 是农业部推荐机型。

收稿日期: 2005-09-06 修订日期: 2006-05-05

基金项目: 南京工程学院院基金项目(科 04-20)

作者简介: 蒋 平(1964-), 男, 高级工程师, 研究方向: 主要从事检测与 CIMS。南京市黑龙江路 19 号汇林绿洲怡林苑 2-1-901 室, 210037。Email: jiangping@njit.edu.cn

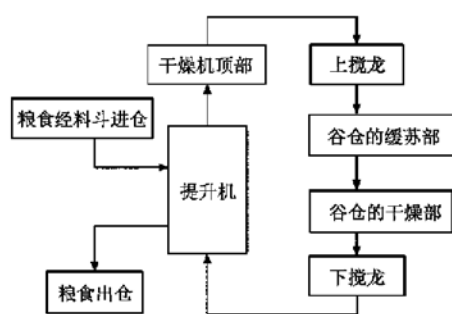


图 1 循环式粮食干燥机作业流程图

Fig. 1 Work flow of circulating grain dryer

## 2 控制系统组成

设计制造的 ACS—3A 型干燥机智能控制系统由单片微机处理系统主机、控制电路、水分传感器、温度传感器、风压传感器、仓位传感器、故障传感器等组成, 见图 2。整套系统除传感器外, 都装在 1 个控制箱中, 控制箱的面板上有 2 个指示灯, 绿色为电源、红色为报警, 1 个液晶显示屏、4 个功能按键和 1 个急停按钮, 侧面有

1 个电源开关。

### 2.1 传感器部分

水分传感器外购, 水分值通过串口输出, 接微电脑系统的串口。

温度传感器采用 DALLAS 公司生产的一线式数字温度传感器 DS18B20, 它具有 3 引脚 TO-92 小体积封装形式; 温度测量范围为  $-55^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$ , 可编程为 9 位~12 位 A/D 转换精度, 测温分辨率可达  $0.0625^{\circ}\text{C}$ , 它可在 1 s 内把温度转变成数字, 串行输出; 其工作电源既可在远端引入, 也可采用寄生电源方式产生; 多个 DS18B20 可以并联到 3 根或 2 根线上, CPU 只需一根端口线就能与任意多个 DS18B20 通信, 占用微处理器的端口较少, 可节省大量的引线 and 逻辑电路。每个 DS18B20 在出厂时给定一个 48 位的唯一序号。以上特点使 DS18B20 非常适用于远距离多点温度检测系统。本系统用了 4 个温度传感器, 接到单片微机系统的一个 I/O 口。

风压传感器和故障传感器均采用机械装置带动微动开关实现。仓位传感器采用光电开关实现。使用 5 V 电源, 直接进入单片微机系统的 I/O 口。

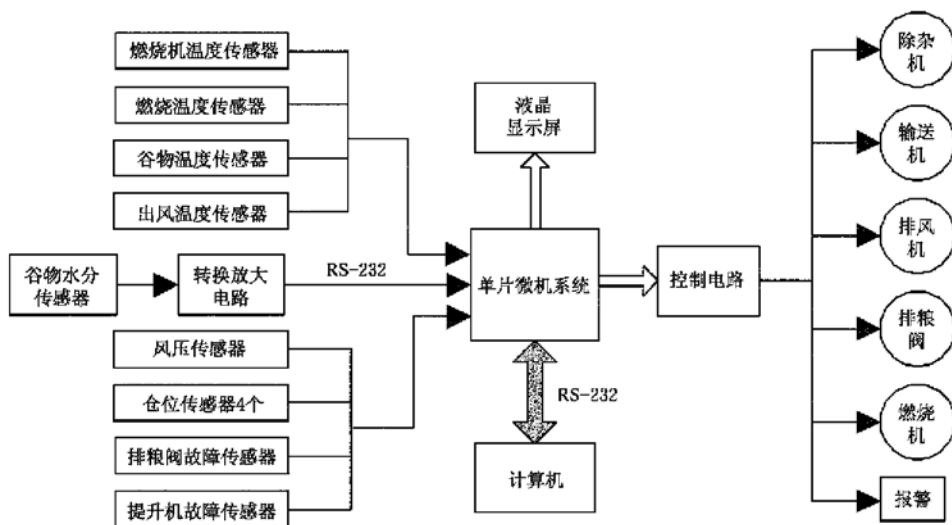


图 2 循环式粮食干燥机控制系统结构图

Fig. 2 Structural diagram of control system for circulating grain dryer

### 2.2 单片微机系统

单片微机系统由单片机、液晶屏、数据存储芯片、可编程逻辑器件 CPLD、时钟芯片、通信接口、按键等组成, 见图 3。

1) 单片机 采用 Winbond 公司的 W78E58, 它有 32K Flash EPROM (APROM), 4KB 的 LDROM, 256B RAM, 64KB 程序存储器(所开发的程序已超过 32K)、64KB 数据存储, 4 个 8 位的双向输入输出, 1 个 UART 串口, 3 个 16 位的定时/计数器, 8 个中断源。串口用于接收水分传感器的数据。晶振用 18.432 MHz。

2) 液晶屏 用的是 OCM19264, 是一种图形点阵液晶显示器, 它主要由行驱动器/列驱动器及格 192×64 全点阵液晶显示器组成。可完成图形显示, 也可以显

示 12×4 个(16×16 点阵)汉字。作者还做了几个动画表示电机启动、粮食进仓和出仓等。

3) 数据存储芯片 采用 Atmel 公司的 AT24C256, 32K, 用于存放设定的数据。2 线制串行 EEPROM, 双向数据传输, 100000 次擦写, 数据可保存 40 年, 可以硬件和软件写保护。该芯片用于保存干燥机设置的参数, 水分传感器的校准值和修正值等, 断电不丢失数据。

4) 复杂可编程逻辑器件 CPLD (Complex Programmable Logic Device) 用的是 ALTER 公司的 3.3V 的 EPM3256-144, 该芯片具有 5000 个可用门, 256 个宏单元, 116 个可用 I/O 引脚, 组合延迟可快至 7.5 ns 计数器的频率可达 227.3 MHz, 含 JTAG 测试

接口电路,能在系统可编程(ISP: In System programmable)能力,可编程/擦除 100 次,能很好地满足设计需要。

按照层次化设计要求,在 MAX+ PLUS 编程仿真平台上使用 VHDL (Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language) 编程语言。Verilog HDL 语言完成各底层单元模块设计,编译仿真通过后,通过 JTAG (Joint Test Action Group) 接口进行在线编程(ISP- In System Programmable),并将仿真检验后的代码烧入 EPM 3256-144 芯片,从而完成了整个芯片的设计。

CPLD 用于扩展单片机的 I/O 口,完成地址译码、16 路外部信号的输入、16 路继电器控制信号的输出、按

键控制、系统时钟、液晶屏的控制,扩展了 1 个串口用于和计算机双向通信。

5) 时钟芯片 采用 SD2003AP,是一种具有内置晶振、支持 I2C 总线接口的高精度实时时钟芯片。低功耗,年、月、日、星期、时、分、秒的 BCD 码输入/输出。自动日历到 2099 年(包括闰年自动换算功能)。时钟年误差小于 2 min(在  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  下)。该芯片用于烘烤计时。

电压调节芯片 LM1086-adj,用于 5 V 电压稳定。

总线驱动芯片 74HC245 用于 CPLD 的 I/O 口的电平过渡,3.3 V 到 5 V。CPLD 的 I/O 电平是 3.3 V,外部电平是 5 V 的,中间用 74HC 245 作为缓冲。

MAX3232 是 RS-232 串行通讯电平转换芯片,用于串行通信。

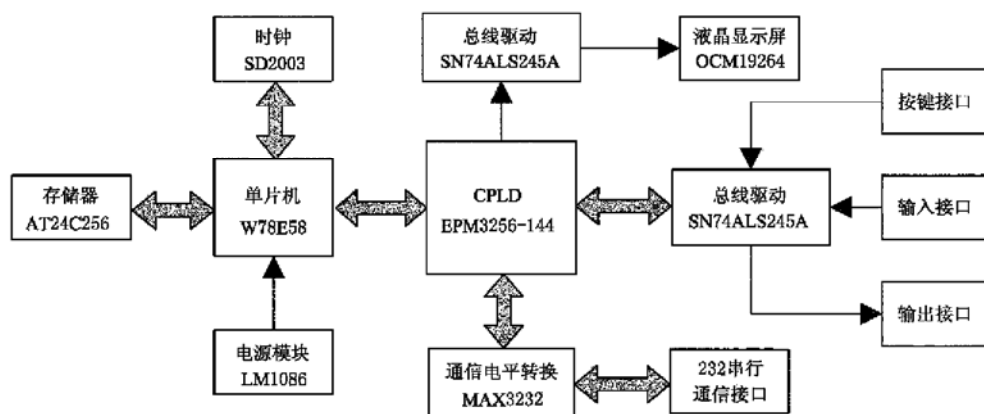


图 3 单片微机系统组成结构图

Fig. 3 Structural composition of single-chip microcomputer system

### 2.3 控制电路

干燥机有 5 个电动机,最小的是单相 90 W,最大的是三相 2.2 kW。考虑直流电源、指示灯、安全性等因素,选用的开关电源提供 5 V 和 24 V,单片机驱动 5 V 的固态继电器,5 V 的固态继电器驱动 24 V 的直流继电器,24 V 的直流继电器再驱动交流接触器、固态继电器和指示灯,进而控制 5 个电动机。并设有过载保护、过流保护、缺相或断相保护、声光报警和急停装置。

## 3 智能控制

整个干燥机的操作就象银行的自动取款机,根据界面提示进行操作即可。

### 3.1 智能按键

按键只有 4 个,完成干燥机所有的参数设置,粮食进仓、出仓和干燥作业,温度传感器设定,水分传感器的校准,电机的维修调试等。

每个按键的功能在不同状态下不同,具体功能依液晶屏上提示进行操作。按“向下”键是向下移动光标,按“△”键是增加数值,按“▽”键是减少数值,按“返回”键是返回上一层操作界面。

### 3.2 智能参数设置

需设置的参数多达 15 项,有目标水分、干燥时间、

燃烧机的热风温度的 3 段设定、燃烧室的最高温度、谷物的最高温度、出风口的最高温度、谷物品种、谷物的仓位、当前季节、延时的时间、校对时钟等。设定的参数断电不丢失,下次工作时仍然有效(除烘烤时间)。对相同情况的干燥,只需重新设置烘烤时间,其它参数无需重新设置,即可工作,适合批量干燥。

设置时,按“向下”按键把光标移到相应的数值上,按键增加或减少,按“返回”回到上层界面。图 4 是其中的一个设定界面。

### 3.3 数字温度传感器的动态设定

4 个数字温度传感器连接好后要进行设定才能使用。采用的是动态设定。设定时,每次接通一个温度传感器,在液晶屏上通过按键将此传感器自由地设定为燃烧机的热风、燃烧室、粮温或出风的温度传感器。

### 3.4 独创的三段式燃烧机的热风温度设置

燃烧机的工作方式是:当燃烧机的热风温度达到最高温度时,停止燃烧;当温度下降到最低温度时,燃烧机重新燃烧。

燃烧机的热风温度的设置非常讲究,干燥机的干燥效率,主要在燃烧机,为了保持谷物的品质,谷物温度不能过高,因此燃烧机需要频繁地启动和停止。为了提高效率,谷物在高水分值时,粮温可以高些,随着水分的降

低, 谷物温度也要随着降低。对燃烧机的最高热风温度设定可以按水分分成 3 段进行设定, 见图 4。3 个水分段的水分值可以设定, 相应的燃烧机的最高热风温度也可设定, 以适合不同品种、不同要求的粮食干燥, 而且在烘烤过程中也可以更改, 断电不丢失。燃烧机的最低热风温度设定为低于最高热风温度 2℃。

此项功能有助于研究谷物水分与燃烧机的热风温度之间的关系, 积累专家经验, 在保证谷物品质的前提下, 达到最高的干燥效率, 以节省能源、时间和人力等, 更便于用户针对不同烘烤目的的使用。

	一段	二段	三段
水分段:	18%	14%	
燃烧机:	46℃	43℃	40℃
	△	▽	▲
	○	○	○

图 4 燃烧机三段温度设定界面

Fig. 4 Setup interface for three-stage of burner temperature

### 3.5 智能测控

1) 自动检测温度 检测的温度有燃烧机的热风温度、燃烧室温度、粮仓温度和出风温度。燃烧机的热风温度控制燃烧机的启动和停止。燃烧室温度用于辅助控制燃烧机, 以保证进入谷仓的热风温度不要太高, 以免影响谷物品质。

粮仓温度用于控制烘烤的谷物的温度, 保证谷物的品质, 特别是种子烘烤, 要求温度小于 35℃, 防止稻谷爆腰, 保证发芽率。

粮仓温度和出风温度用于辅助控制, 烘烤监控, 如粮仓温度过高, 出风温度过低, 说明热风交换不畅。

出仓时, 国家标准要求谷物温度和室温差 8℃, 才可出仓。

2) 可以检测谷物的仓位, 空仓、1/3 仓、2/3 仓和满仓, 空仓: 谷物干燥完出仓时, 出完了自动停机。进仓时, 谷物到设定的仓位自动停机。

#### 3) 故障诊断与报警

干燥机运行发生故障时, 红色报警灯亮, 蜂鸣器鸣叫, 燃烧机停止工作。

排风机不工作时, 风压传感器报警, 停止燃烧机。

燃烧室温度、粮仓温度和出风温度 3 个温度中任一温度过高(即超过设定的最高温度), 就停止燃烧机, 并进行温度报警(燃烧机的热风温度超过设定值, 不报警, 只停止燃烧)。

排粮阀和提升机发生堵转故障时, 干燥机停机, 报警。

#### 4) 干燥方式的控制

常用的粮食干燥方式有通风干燥、常规干燥、两段式干燥和定时干燥 4 种方式。

通风干燥是只通风, 燃烧机不工作的一种干燥方式。具体做法是把燃烧机的热风温度设的比室温低, 即可实现通风干燥。

常规干燥是按设定目标水分值和烘烤时间进行控制的干燥方式, 水分值和烘烤时间两个条件中的一个满足就停机, 两个条件更安全地保证谷物品质。

两段式干燥是干燥一段时间, 停机一些时间(增加缓苏)后, 再开机进行干燥, 直到完成。由于所设计的控制系统断电数据不丢失, 可以多段式干燥。

定时干燥是按设定烘烤时间进行干燥, 时间到, 干燥机停止干燥。只需将目标水分值设的低一些即可。

4 种干燥方式都是通过 4 个按键设定条件后, 按“烘烤”键即可。烘烤中可更改设定的条件、查看报警信息和人工停机。干燥机的烘烤界面见图 5。

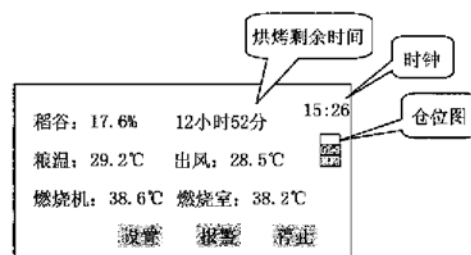


图 5 烘烤界面

Fig. 5 Roast interface

5) 通过计算机将水分传感器的标定值传送给单片机, 起到校准作用。

## 4 抗干扰措施

干燥机主要面向农村, 要求工作可靠稳定, 抗干扰能力强。经过多次实践, 采取了如下的抗干扰措施:

1) 直流电源选用开关电源, 有过流、过压、过热等保护作用。它的 5 V 与 24 V 隔离, 其供电是通过电源滤波器接到交流 220 V。

2) 双面电路板除了电路走线外, 其余部分均为地, 而且封闭, 起屏蔽作用。固态继电器单独做成电路板, 与微电脑系统分开。

3) 采用复杂可编程器件 CPLD, 减少单片机的外围芯片和电路, 提高抗干扰能力。

4) 单片机的 5 V 和继电器的 5 V 用电源隔离模块 SR5S5/1000 进行隔离, 而且单片机的电源用 LM 1086 - ADJ 稳定在 5 V。

5) 燃烧机要频繁起动, 几分钟起动一次, 用交流接触器控制燃烧机, 交流接触器的线圈频繁通断电, 有电磁干扰, 改为固态继电器, 无线圈, 不产生干扰。

6) 信号光电隔离 所有输入信号和输出信号都经过 LPT 521-4 光电隔离。

7) 继电器的线圈加二极管和电容做放电吸收电路, 去除触点的抖动。线圈反向并接二极管来消除电磁干扰。

8) 外壳接大地 单片机部分有一个铁壳外罩屏蔽, 控制箱与干燥机相连, 干燥机外壳单独接地。

9) 软件“看门狗”技术, 定时扫描键盘、检测报警和刷新界面, 具有良好的抗干扰性能。

10) 软件部分也采取了几种抗干扰措施,如数字滤波、取平均值、去粗大误差等。

## 5 系统软件设计

本系统的控制程序采用模块化的设计思想,用 C51 设计,主程序先进行系统的设置和初始化,如串口、液晶屏、时钟、定时器、中断、按键初始化。进入循环,系统检测是否有从 PC 机过来的命令,有就执行;定时 40 ms 刷新液晶屏的显示。在烘烤状态下,定时 400 ms 检测报警、水分、温度和显示时钟等。系统在刷新液晶屏时,扫描按键,当有按键按下时,根据所按的按键不同,调用相应的功能模块,执行相应的操作,控制干燥机工作。操作类似银行的自动取款机。

## 6 结 语

该系统经过反复实践,多次改进,尤其是增加了各种抗干扰措施,电路板重做了 5 次。由于使用了单片机和 CPLD,外围电路少,芯片也少。一些硬件无法做到的功能(如水分传感器的校准和修正),由软件去完成,软硬结合,功能扩展容易,该系统的软件更是多次改进和完善。尤其是听取了国家和江苏农机站来鉴定的专家的意见,进行一次较大规模的改进,特别增加了燃烧机热风温度的三段式温度设定,控制灵活,适合于各种干燥要求,干燥效率大大提高,能源、时间、人力更加节约。该系统在农村经过长时间考机,运行正常可靠。

该系统可以实时检测谷物水分、各点温度等信息,及时报警,将测量的谷物水分值传送给计算机,便于多台干燥机的集中监控,以及进一步进行统计分析,积累专家经验,针对不同的谷物品种,不同的烘烤目的,三段水分如何划分,相应的燃烧机最高热风温度和最低热风温度设为多少合适,即能保证谷物品质,又能效率高,能源消耗少,更方便用户不同烘烤目的的使用。

该系统可扩展性强,可接任意多个温度传感器,有

16 路输入信号和 16 路输出控制,也可用于其它自动控制场合。

### [参 考 文 献]

- [1] 刘兆丰,沈尧烈.粮食仓储设备[M].北京:机械工业出版社,2002.
- [2] 蓝卫星.谷物低温干燥机粮食作物干燥技术及其发展趋势[J].广西农业机械化,2002,6:11-13.
- [3] 本刊记者.干燥设备行业现状及发展趋势[J].通用机械,2005,1:19.
- [4] 本刊记者.2005 年度省级财政农机购置补贴政策出台[J].江苏农机化,2005,2:6.
- [5] 周洪,王俊杰.2004 年全省农机化事业持续健康快速发展[J].江苏农机化,2005,2:16-17.
- [6] 谢敏,胡伟.粮食烘干技术与装备现状及发展对策[J].农机质量与监督,2002,2:33-35.
- [7] 丁立威.中小型粮食烘干机有市场[J].湖南农业,2004,(9):5.
- [8] 景后寅.农民需要中小型粮食烘干机[EB/OL].<http://www.nongji.com.cn/pages/infopage.asp?ino=2356>,2004-06-28.
- [9] 王海霞,张建军,刘峰.我国粮食干燥机械设备技术分析[J].农机化研究,2005,11(6):65-67.
- [10] 蓝卫星.谷物低温干燥机粮食作物干燥技术及其发展趋势[J].广西农业机械化,2002,6:11-13.
- [11] 肖渊壮,朱丽萍,促立新,等.计算机控制系统在烘干生产中的应用[J].黑龙江粮食,2002:42.
- [12] 李业德,李业刚.顺流式谷物烘干机的模糊控制系统[J].农业工程学报,2002,18(1):162-164.
- [13] 刘立山,李娟,匡军.滚筒式作物种子干燥机自动控制装置的研制[J].农业工程学报,2004,20(4):108-111.
- [14] 刘冬梅,刘立意,柴玉华,等.谷物干燥机自动控制系统的研究[J].农机化研究,2004,11(6):112-113.
- [15] 李长友,曹艳明.谷物循环干燥机控制系统硬件设计[J].农业机械学报,2002,33(6):86-88.
- [16] 曹艳明,李长友.谷物循环干燥机控制系统软件设计[J].农业机械学报,2003,34(1):83-85.

## Intelligent control system for circulating grain dryer

Jiang Ping<sup>1</sup>, Zhu Chuanxiang<sup>1</sup>, Lü Dezhi<sup>2</sup>, Gao Chengchong<sup>1</sup>

(1. Department of Mechanical Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 210013, China;

2. Nanjing Zhong Ding Electric Co. Ltd., Nanjing 210006, China)

**Abstract:** This article concerns an integrated control system for grain dryer along with its hardware and software, which concentrates on innovating the shortcoming of the existing control system of homemade dryer. The design is based on the Single Chip Microcomputer(SCM) and Complex Programmable Logic Device(CPLD) so that it enables to effectively control factors, such as temperature and humidity, and enhances the drying efficiency. Relevant data can be measured by applying a variety of temperature sensors, moisture sensors, and position sensors for the intelligent control of dryer. The system can fulfill the setup of the temperature sensors, the calibration and modification of the moisture sensors, and the setup of dryer fifteen running parameters. Furthermore, it can automatically test and give alarm not only for both the humidity, temperature of grains and the failures of the system, but also for the automated control of combustion machine. Besides, the device can realize the real time transmission of moisture volume to the computer so that it is possible to conduct the centralized monitoring and the statistical analysis of multi-dryers. Being utilized in practice, the system, which is proved to be reliable, promotes various intelligent control properties for dryer operations in high efficiency, and performs many drying tasks with considerable grain drying quality.

**Key words:** single chip microcomputer; grain dryer; intelligent control; complex programmable logic device