

顺流式玉米烘干塔温度控制系统开发与改进

The exploring and improvement of the temperature control system in the corn drying tower

蔡有杰¹ 吴志东¹ 王雪峰¹ 包 丽¹ 张金峰²

CAI You-jie¹ WU Zhi-dong¹ WANG Xue-feng¹ BAO Li¹ ZHANG Jin-feng²

(1. 齐齐哈尔大学机电工程学院, 黑龙江 齐齐哈尔 161006; 2. 黑龙江景星机械制造有限公司, 黑龙江 齐齐哈尔 161006)

(1. Mechanical and Electronic Engineering Institute, Qiqihar University, Qiqihar, Heilongjiang 161006, China;

2. Heilongjiang Jingxing Machinery Manufacturing Co., LTD, Qiqihar, Heilongjiang 161006, China)

摘要: 为有效保证粮食的烘干温度保持在设定的安全温度范围之内, 采用多传感器均匀布点检测与模糊控制技术, 设计一种顺流式玉米烘干塔温度控制系统。以 AT89C51 单片机为开发平台, 利用可编程温度传感器 DS18B20, 通过串口通信传输至 LabVIEW 系统上位机显示, 并以检测的温度数据作为系统调节反馈, 采用抗饱和 PID 控制算法, 调节单片机输出占空比的大小, 从而使驱动电路控制热风机的转速。与传统装置相比, 改进后的温度控制系统具有主机接口简单、结构灵活、调试方便、测温系统转换速度快、精度高的特点。

关键词: 玉米; 烘干塔; 温度控制; 上位机; 单片机

Abstract: To effectively guarantee the grain drying temperature to keep in safe range, a downstream type corn drying tower temperature control system was designed combining the multi-sensor detection and the even putting fuzzy control technology. With AT89C51 as the development platform, and the programmable temperature sensor DS18B20 was used via a serial port communication and transport to the LabVIEW system. Moreover, according to the upper machine, the temperature was detected as the data for feedback system adjustment, and anti-saturation PID control algorithm, the size of single chip microcomputer output duty cycle was adjusted. Thus the drive circuit heat fan speed was controlled finally. Compared with the traditional device, this improved temperature control system contained a simple host interface, a flexible structure, a convenient debugging, an efficient and precious temperature detection and transformation.

Keywords: corn; drying tower; temperature control; upper computer; single chip microcomputer

收后干燥是玉米安全储藏的重要环节, 而干燥过程机械自动化是中国粮食生产的重要研究方向, 在烘干技术中如低温干燥、蒸气干燥等新技术的研究应用, 实行干燥过程自动控制, 对玉米干燥生产效率、安全及提高玉米品质都具有重要的意义。

从 20 世纪 40 年代开始, 国外就进行了粮食干燥技术的研究, 70 年代已经达到粮食产后烘干机械化, 90 年代后烘干设备就向着高效节能的方向发展, 并逐步形成标准化、系列化。

中国粮食烘干技术起步较晚, 全国已发展有 50 多个烘干设备厂家, 但机型较少且不成熟、产量不高、能耗高、技术较低^[1]。玉米烘干塔温度控制多是在烘干塔粮食入口和出口处设置温度传感器采用热敏电阻、湿敏电阻作为传感器件, 通过检测电阻的变化来反映粮食温度的变化, 为烘干塔粮食烘干提供参考依据。其原理多采用单点局部测量, 通过信号调理送入单片机, 单片机通过算法对信息进行运算处理, 送出显示并控制风机动作^[2]。但热敏电阻的单点局部测量可靠性差, 测量温度准确率低, 而且必须经过专门的接口电路转换成数字信号才能由单片机进行处理。

为克服上述缺点, 结合可编程温度传感器 DS18B20 的特点, 借鉴多传感器均匀布点检测与模糊控制技术在数据采集、机器人控制等领域应用中体现出来的反应灵敏, 控制精度高; 可模块化设计, 扩展性强; 成本低, 易于推广等优势。本研究采用 DS18B20 数字温度传感器均匀布点, 代替传统的热敏电阻温度传感器, 以 AT89C51 代替 8031 单片机, 通过在每个塔层设置温度传感器, 对按时序逻辑获得的多传感器采集的信息进行综合分析和处理, 同时采用 PID 控制算法避免粮食烘干塔烘干温度的超调, 并采用闭环控制, 实时采

基金项目: 齐齐哈尔市科技局科学技术计划项目工业攻关(编号: GYGG-201418, GYGG-201505); 黑龙江省教育厅基本业务专项理工青年骨干项目(编号: 135109310); 黑龙江省规划办项目(编号: 16Q148)

作者简介: 蔡有杰(1966—), 男, 齐齐哈尔大学副教授。

E-mail: 86464642@qq.com

收稿日期: 2016-08-28

集粮食烘干过程中的烘干温度,使粮食的烘干温度能够精确地控制在安全的范围内。旨在建立一套以计算机自动控制粮食烘干过程的实时监测控制系统,以优化粮食烘干塔干燥过程自动化水平,降低粮食在烘干过程中因温度监测不准确而导致的损坏。

1 顺流式玉米烘干塔组成及系统功能设计

顺流式玉米烘干塔其整体结构可分为三大部分,两段加热,一段冷却。塔体主要由底座、塔顶、储粮段、排粮段和各烘干塔层组成。其烘干原理为粮食经清选后,由提升机送至烘干塔储粮段,料位器自动控制上粮,粮食在烘干塔内运行方向与热风(冷风)流动方向成顺流,实现预热、干燥、缓苏、冷却的整个过程,通过控制系统自动监测控制排粮,从而达到理想的烘干效果,最后由排粮机送出。

根据烘干塔工作流程和参数要求,顺流式玉米烘干塔控制系统的工作方式及相关的功能为:在烘干塔温度控制方面,采集塔体各层的温度数据,经驱动电路调节热风机的转速,使烘干塔温度保持在设定值范围,保持玉米良好的属性;玉米烘干的目的就是保证烘干后的玉米水分含量在安全的储藏要求的范围之内,在玉米水分控制方面,利用在线式玉米水分检测传感器测量进出口玉米的水分含量,根据测得的玉米水分含量,控制排粮机构的运转速度,以玉米层在烘干塔内的流动速度,使出口的玉米水分达到储藏要求;图 1、2 分别为改进前、后系统控制总框图,前者热敏电阻传感器要经多路开关多线分别经 A/D 转换送入单片机处理后经扩展

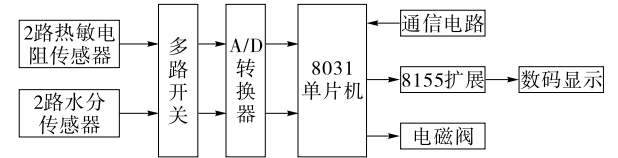


图 1 传统温度控制系统总框图

Figure 1 Temperature control system of total diagram before improvement

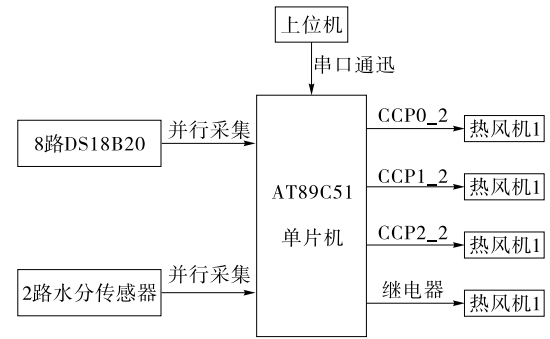


图 2 改进后系统控制总框图

Figure 2 The improved temperature control system block diagram

接口电路通过数码显示;改进后的多点传感器通过并行通信方式直接送至单片机,并通过主控芯片与上位机串口通信,在上位机显示烘干塔数据并控制系统运行。

2 烘干塔温度控制设计

玉米烘干过程中温度的控制对玉米的烘干效率以及玉米的属性有着重要的影响。烘干塔的温度控制设计分为温度检测及处理、烘干段恒温控制算法设计、温度控制执行设计等部分^[3]。

2.1 烘干塔的温度检测

2.1.1 温度传感器与单片机接口电路 烘干塔的温度采集,如图 3 采用 8 个 DS18B20 温度传感器采集 8 路温度数据,8 路温度分别是:1 路外部温度、1 路冷却段温度、2 路加热段 1 的温度、1 路热风口 1 的温度、2 路加热段 2 的温度、1 路热风口 2 的温度^[4]。为克服图 1 中使用单总线读取 8 个传感器时操作周期较长,不能满足系统的实时性要求,尤其在读取器件的序列号时需要大量时间的缺点,在烘干塔温度采集的电路接口设计中,采取牺牲单片机 IO 口的方法,使用一组单片机 IO 口(P2)并行操作 8 个 DS18B20,当电路中一根总线上只有一个 DS18B20 温度传感器器件时,可以通过写入指

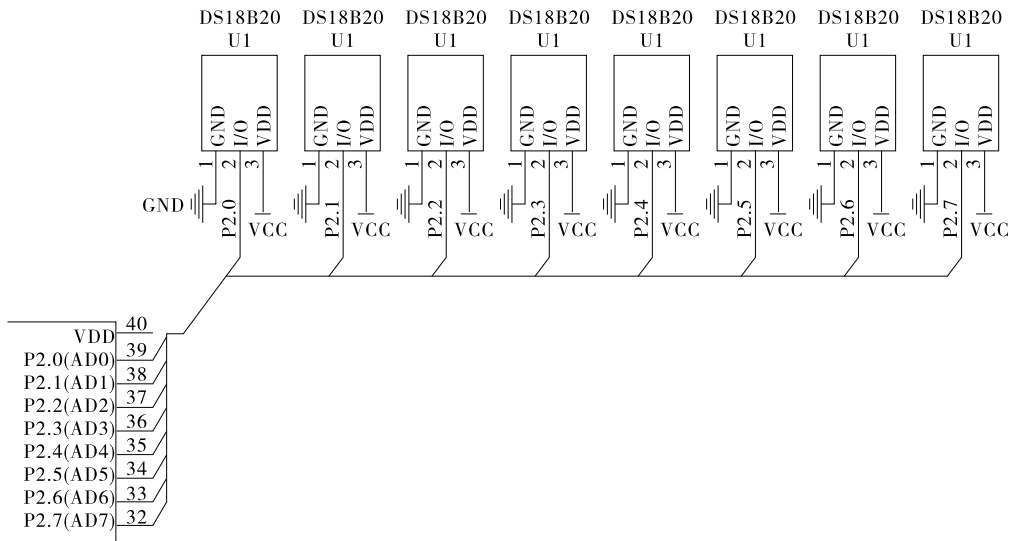


图 3 温度传感器与单片机接口电路

Figure 3 The temperature sensor and single chip microcomputer interface circuit

令“Writ_onebyte(0xCC)”,跳过读取温度传感器序列号,从而节省大量温度传感器的操作时间,应用该电路设计可以在 1 s 之内将 8 个温度传感器的 16 字节的数据读取完成^[6]。

2.1.2 烘干塔温度采集与数据处理 单片机采用 AT89C51 代替原来的 8031,8031 片内不带程序存储器 ROM,使用时用户需外接程序存储器和一片逻辑电路 373。用户若想对写入到 EPROM 中的程序进行修改,必须先用一种特殊的紫外线灯将其照射擦除,之后再可写入^[6]。而 AT89C51 因不用外存储器,不必安装原电路的外存储器和 373 芯片,且由于内部 RAM 的存在,可以减少 I/O 扩展芯片、锁存器及片外 RAM 等等,使整个设计显得简单明了。

烘干塔的温度数据采集操作,分为以下几个步骤:① 复位 8 路 DS18B20 温度传感器芯片[Init_Ds18b20()];② 写入忽略 ROM 指令[Writ_onebyte(0xCC)];③ 写入开始转换指令[Writ_onebyte(0x44)];④ 延时等待转换完成;⑤ 复位 8 路 DS18B20 温度传感器芯片[Init_Ds18b20()];⑥ 写入忽略 ROM 指令[Writ_onebyte(0xCC)];⑦ 写入读取温度数据指令[Writ_onebyte(0xBE)]。

每路温度数据分为高、低两个字节,并行采集 8 路温度数据时,单片机从低位到高位依次读取 8 路温度传感器的串行数据,8 路温度数据的每一位组成 1 字节的数据^[7]。将 16 字节数据存储在数组中进行以下数据处理:① 将数组中进行数据进行拆位处理,转化为每路温度传感器有效的高、低两字节数据。并将两字节数据处理为单精度的温度数据;② 将得到的单精度温度数据转换为 4 字节十六进制数据存储在发送缓冲区,发送至上位机;③ 将测量的加热段 1、2 的温度反馈至抗饱和 PID 控制器,对烘干塔的烘干温度进行闭环控制;④ 将冷却段的玉米温度与外部温度比较后,控制排粮机构的输出。烘干塔的温度采集与数据处理框图见图 4。

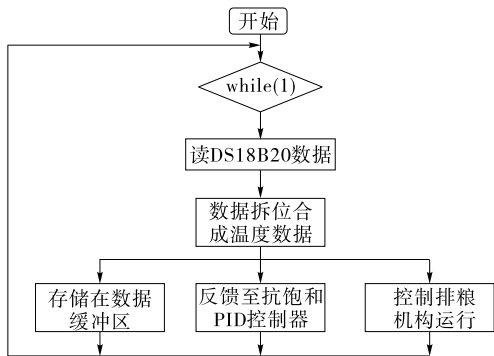


图 4 烘干塔的温度采集与数据处理框图

Figure 4 Diagram of the temperature acquisition and data processing

2.2 烘干段恒温控制算法设计

烘干塔温度较为复杂,改进后的温度控制采用 PID 控制算法, PID 控制框图见图 5。粮食烘干过程中要防止温度超调,传统的控制系统在烘干过程中,如果温度超调,只能停止热风机的运行,进行自然冷却降低温度,由于减少了热空气

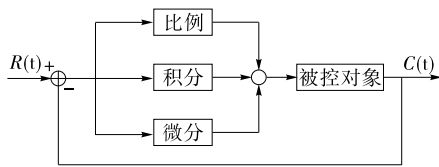


图 5 PID 控制框图

Figure 5 PID control block diagram

与粮食层的相对流动从而降低了粮食烘干的效率^[8]。而使用抗饱和 PID 控制算法能够有效避免粮食烘干塔烘干温度的超调,达到设计范围内恒温控制的目的。

烘干塔温度抗饱和和 PID 程序设计:

```
float Hg_kbh_pid(float set_value,float rea_value,float kp,float ki,float kd)
```

```
{
    float result,ki_work,kp_work,kd_work,err;// 定义局部变量
    err=set_value-rea_value; //计算误差
    kp_work = kp * err; //比例项
    ki_work = ki * Erradd; //积分项
    kd_work = kd * (err-Lasterr); //微分项
    if(Erradd>(set_value+10)) //积分值限制
    {
        if(err<0)
            Erradd+=err;
    }
    if(Erradd<(set_value-10))
    {
        if(err>0)
            Erradd+=err;
    }
    Lasterr=err;// 用于下次微分项计算
    result =kp_work+ki_work+kd_work;// 结果输出
    // Resultback=result;
    return result;
}
```

2.3 温度控制执行设计

2.3.1 热风机选择及驱动电路 烘干塔的温度控制可以通过调节热风机的风量的大小来控制烘干塔的温度,温度控制的执行原件主要分为两个部分,分别是引风机和电机调速两个部分。以 200T/D 玉米烘干塔所需的引风机功率约为 15 kW^[9],热风机选用的是 Y5-48 No8C 型 Y160L-4 引风机,功率 15 kW,转速 1 600 r/min,全压 1 948 Pa,流量 15 765 m³/h。电机调速驱动电路使用变频器,采用西门子 6SE7023-4EC61 变频器额定功率 15 kW,它具有控制电机的功耗实现设备节能、便于维护设备、运转过程中对电路和电机的保护的特点^[10]。变频器接受到发出的控制信息,通过改变电源的频率,来对电机进行调速。单片机管脚 PWM 输出要加上限流电阻,与变频器的控制接口采用光耦隔离进行保护,电机驱动电路原理图见图 6。

2.3.2 热风机软件控制设计 利用 AT89C51 单片机通过调节 PWM 输出的占空比调节电压信号,通过写入 PCA_PWMn 模块寄存器的 EBSn_1 和 EBSn_0 位,设置模块为6~8 位 PWM 输出^[1]。模块 0 的 PWM 寄存器见表 1。

EBS0_1,EBS0_0;当单片机的 PCA 模块 0 工作在 PWM 模式时

- 0 , 0:模块工作在 8 位 PWM
- 0 , 1:模块工作在 7 位 PWM
- 1 , 0:模块工作在 7 位 PWM
- 1 , 1:无效,模块工作在 8 位 PWM

单片机的三路 PCA 模块共用一个 16 位 PCA 定时器,如图 7 所示,通过写入选择定时器的时钟频率,在设计中选择定时器 2 的溢出率(1/T)为 PCA 定时器的时钟频率。定时器的工作模式固定为 16 位自动重装,通过设置初装值及定时器 2 的时钟频率设定定时器 2 的溢出率,从而设定 PCA 模块的频率。设置 PCA 的频率,则 PWM 为选择输入源频

率的 1/256;因为 PWM 为 8 位;时钟源选择可以是 fosc/12 或者 fosc/2、定时器 T0/T2 溢出率、也可以是外部时钟输入 ECI/P3.4,或者 fosc、fosc/4、fosc/6、fosc/8;可以通过 T0 定时器的的工作方式及初始值设定一定频率的 PWM 输出,写入相应模块捕获寄存器 CCAPnH 和 CCAPnL 的值,控制 PWM 占空比输出,调节控制电压的大小,进而达到控制烘干温度的目的。

```
烘干塔热风机部分软件控制程序:
Resultback= Hg _ kbh _ pid (hot1. settemp, ByteFloat
(DataScope_OutPut_Buffer,5),
hot1.setkp,hot1.setki,hot1.setkd);//使用烘干段 1 的
结构体数据控制烘干段 1
if(Resultback>100)//PID 输出范围限定
Resultback=100;
if(Resultback<0)
Resultback=1;
```

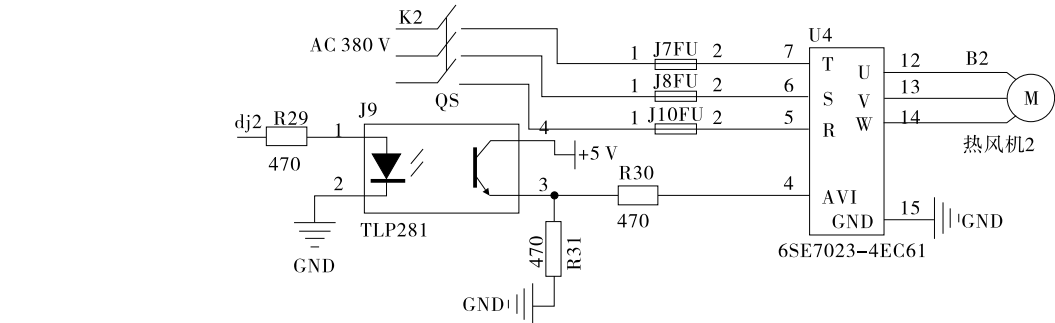


图 6 电机驱动电路原理图

Figure 6 Motor drive circuit principle diagram

表 1 模块 0 的 PWM 寄存器

Table 1 PWM module 0 registers

SFRname	Address	bit	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
PCA_PWM0	F2H	name	EBS0_0	—	—	—	—	—	EPC0H	EPC0L

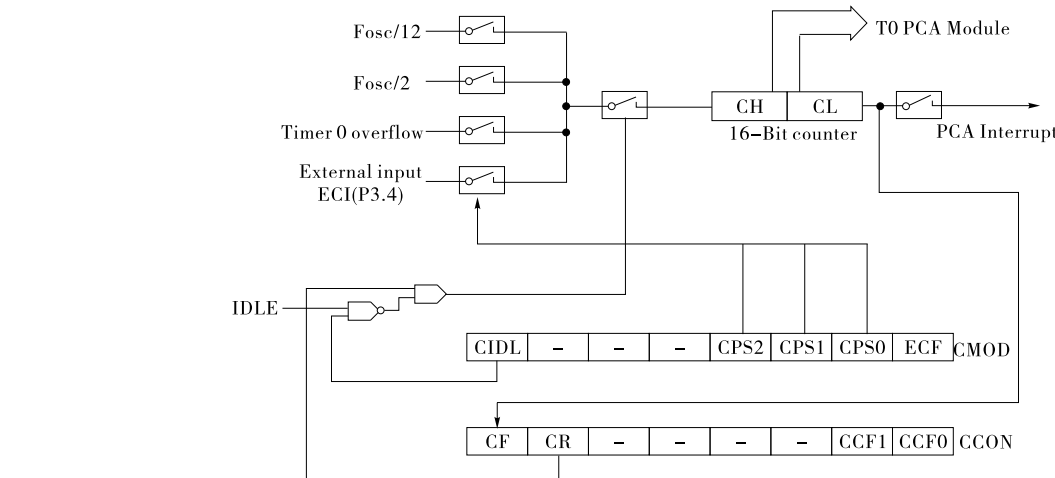


图 7 PCA 定时器/计数器结构

Figure 7 Motor drive circuit principle diagram

```
CCAP0H = 255 - ((uint8)((Resultback/100) * 255)); //比例对应调节
Delay5x_ms(10);
Resultback=0;
Resultback = Hg_kbh_pid (hot2. settemp, ByteFloat
(DataScope_OutPut_Buffer,6),
hot2.setkp,hot2.setki,hot2.setkd); //控制烘干段 2
if(Resultback>100)
Resultback=100;
if(Resultback<0)
Resultback=1;
CCAP1H = 255 - ((uint8)((Resultback/100) * 255));
```

3 烘干塔温度控制仿真验证

玉米烘干塔的温度控制仿真在 Code Block 与 MATLAB 软件中实施。分为以下几个步骤：

- (1) 建立简化的烘干塔温度控制对象的数学模型。
- (2) 将被控对象微分方程进行差分化处理。
- (3) 将离散的被控对象模型用 C 语言表示。
- (4) 进行 PID 参数整定,使被控对象的输出达到系统设计要求。烘干塔温度控制属于大惯性、大滞后、时变非线性的控制系统,难以建立精确的数学模型,通过简化系统输入输出的关系,建立系统的微分方程,用来描述实际系统温度特性随时间演变的过程^[12]。PID 参数的整定顺序为比例(P)、积分(I)、微分(D)。三个环节对于误差的作用各不相同。① 对于比例环节,当误差产生时立即作用,其输出波形是误差波形乘以比例系数;② 积分环节的作用是消除静差,只要误差存在,便会一直作用,当调节器输出的误差不等于 0,则积分会在该方向一直累加;③ 微分在系统抖动的时候作用,且作用较强,在大惯性的系统中,积分项可以提高系统的反应速度。当取比例 $K_p=30$,积分 $K_i=1.0$,微分 $K_d=20$,给定值为阶跃信号 60,惯性环节的惯性系数取 5 833 时,通过以下 PID 算法进行参数整定,得到烘干塔出口温度仿真图形。

PID 算法：
pid_out=generalpid(30,1.0,20,60,sys_realout); //比例积分微分分别为 30,1.0,20
sys_realout=InertialElement(5833,pid_out);
烘干塔出口温度仿真图形结果见图 8。由图 8 可知,系

统出口温度随时间推移、数据采集次数增到 300 次以上,温度波动较小,说明温控系统控制精度较高,完全满足玉米烘干温度恒定要求。

4 结论

通过烘干塔温度控制系统的温度采集电路、温度数据的处理、烘干塔恒温控制算法优化设计、执行部分软硬件设计,并简化烘干塔温控的数学模型,使用设计的抗饱和 PID 算法对烘干塔的温度控制进行了仿真。通过整定 PID 参数,达到烘干塔自动控制工作要求。

参考文献

[1] 赵学伟,周兵.我国玉米干燥技术现状及发展方向[J].玉米与饲料业,2003,26(2):15-17.
[2] 邹莉.实验用温控对象模拟器的设计[D].合肥:合肥工业大学,2009:2-4.
[3] 李红刚,张素萍.基于单片机和 LabVIEW 的多路数据采集系统设计[J].国外电子测量技术,2014,33(4):62-67.
[4] 林凡,吴孙桃,郭东辉.半导体温度传感器及其芯片集成技术[J].仪表技术与传感器,2003,40(12):1-2.
[5] 刘鸿文.材料力学 I [M].北京:高等教育出版社,2011:189-193.
[6] 李振涛,张阳,张丽梅.玉米水分在线检测传感器[J].辽宁大学学报:自然科学版,2006,40(3):241-243.
[7] 丁向荣.单片机微机原理与技术接口[M].北京:电子工业出版社,2012:95-101.
[8] 张金.LabVIEW 程序设计与应用[M].北京:电子工业出版社,2015:234-236.
[9] 郭天祥.新概念 51 单片机 C 语言教程:入门、提高、开发、拓展全攻略[M].北京:电子工业出版社,2009:105-114.
[10] 陈荷娟.机电一体化系统设计[M].北京:北京理工大学出版社,2008:25-29.
[11] 吕孝荣.玉米烘干过程智能控制的理论与试验研究[D].沈阳:东北大学,2005:44-47.
[12] 王巧芝.Altium Designer 电路设计标准教程[M].北京:中国铁道出版社,2012:80-84.

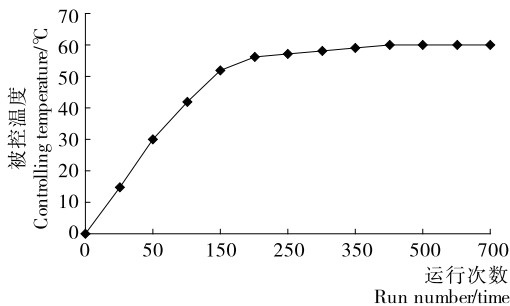


图 8 烘干塔温度控制仿真

Figure 8 Drying tower temperature control simulation