

基于嵌入式系统的小型生物质锅炉智能控制器

礼冬雪^{1a}, 王启民^{1b}, 李源^{1a}, 仇一芳²

(1.沈阳工程学院a.能源与动力学院; b.科技处, 辽宁沈阳110136; 2.阜新发电有限责任公司, 辽宁阜新123000)

摘要：基于ARM Cortex - M3内核设计了一种嵌入式系统智能控制器，采用低价位、高性能的微控制器STM32F103作为主控芯片，并详细介绍了基于嵌入式系统的小型生物质锅炉智能控制器的主要硬件电路设计和软件设计。将该控制器应用在小生物质锅炉上，记录供暖期间的实际数据，与供暖模型的计算数据进行对比，结果表明：该控制器信号传输稳定、实时性好，而且使室内温度始终保持在最佳舒适度范围内。

由于小型生物质成型燃料锅炉系统的动态特性具有非线性、大惯性、大延迟的特点，为此，开发了基于STM32的嵌入式智能控制器。该智能控制器依靠控制程序中的特殊控制算法，根据设定的室内温度上、下限和实时的室内温度变化曲线，控制生物质锅炉运行或停止，确保室内温度保持在最佳舒适度范围内。

1设计方案

该小型生物质成型燃料锅炉智能控制器系统包括给水系统、给料系统、点火系统、引风除尘系统和送风系统。为了实现室内温度始终保持在最佳舒适度范围内，室内温度的算法如式(1)所示。

$$(1 - e^{-t/\tau}) \times Q \times \Delta T \times C dt = V_k \times c_k dT_n + F \times a \times (T_n - T_w) dt \quad (1)$$

在式(1)中, ΔT 为锅炉供、回水温差, Q 为锅炉供水流量, c 为水的比热, T_n 为室内温度, τ 为供暖惯性时间, v_k 为围护结构(外墙)容积, c_k 为围护结构热容系数, a 为围护结构的平均传热系数, F 为围护结构的传热面积, T_w 为户外温度。根据式中已知参数 ΔT 、 Q 、 C 、 v_k 、 c_k 、 F 可以求出供暖时间 t 与室内温度 T_n 的关系。

该小型生物质锅炉智能控制器功能完备，工作方式分为手动模式和自动模式。在自动模式下，可使熄火、灭火保护等控制过程达到完全智能化，其智能控制器方案如图1所示。

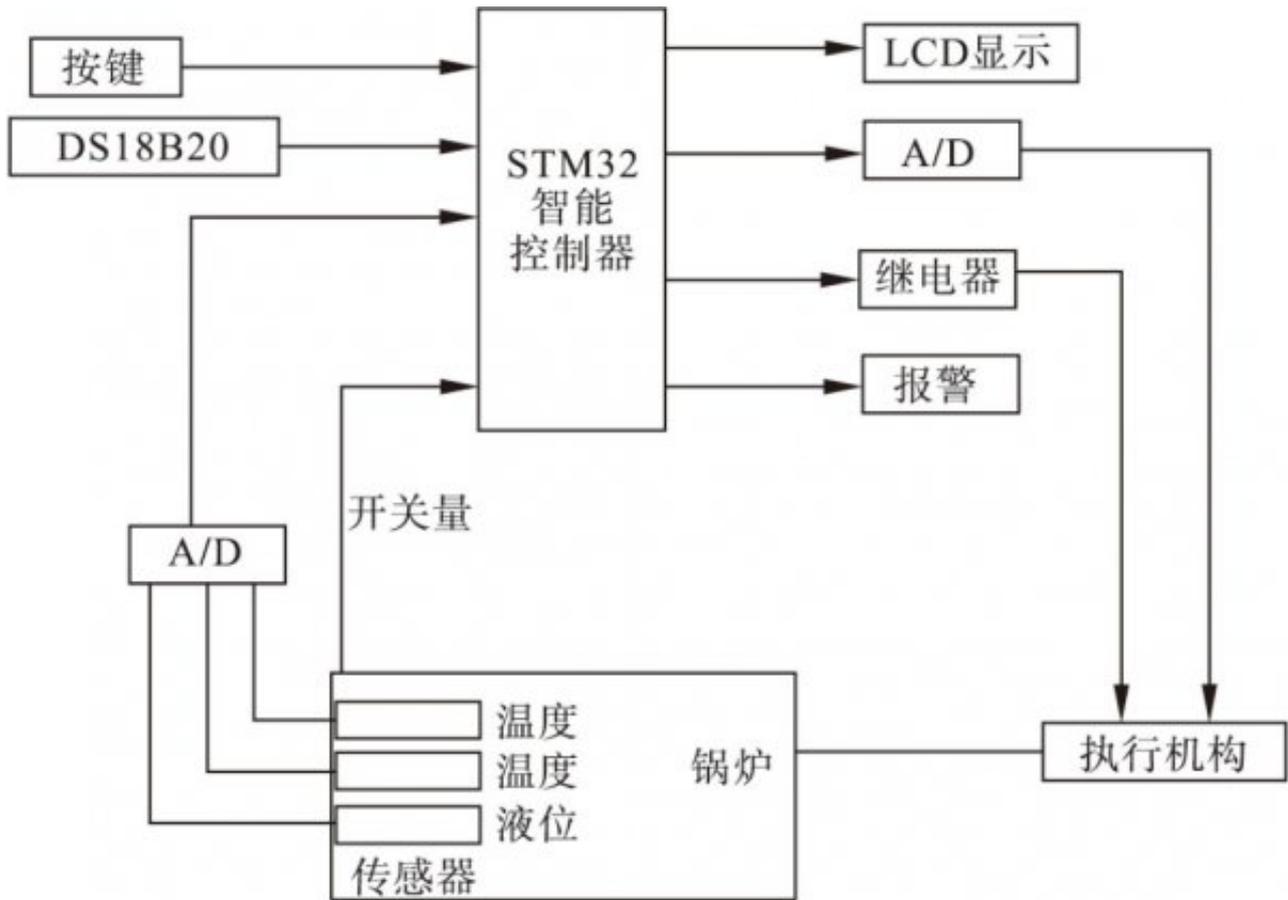


图 1 基于 STM32 的生物质锅炉智能控制器方案

在图1的控制方案中，DS18B20采集室温信号，传感器采集随时间变化的模拟信号(被调参数)，如温度、流量和水位等。被采集信号通过A/D转换器转换成控制器可识别的二进制数据，经I/O送入控制器，进行运算处理，从而得到给水系统、给料系统、点火系统、引风除尘系统、送风系统、熄火保护系统、灭火保护系统的动作指令。指令经控制器的I/O输出，通过控制继电器的闭合与断开，操控执行机构运行与停止；与此同时，LCD显示各个执行机构的运行状态以及温度、液位等参数，如果锅炉运行异常，伴随有声光报警。

2主要硬件电路

2.1多点水位采集及指示原理

选用电极式液位传感器，电极的探测头为不锈钢材料。把I/O的PA0~PA7和PB0~PB3共计12点作为多点水位数据采集输入；PC0~PC7作为水位状态输出端，驱动LED进行指示。此电极式液位传感器工作原理：当电极与外壳间有水时，外壳与电极短接，而外壳与地相接，此时就可以从电极上采集一个低电信号送入CPU，CPU就可识别出锅炉的水位状态，如图2所示。

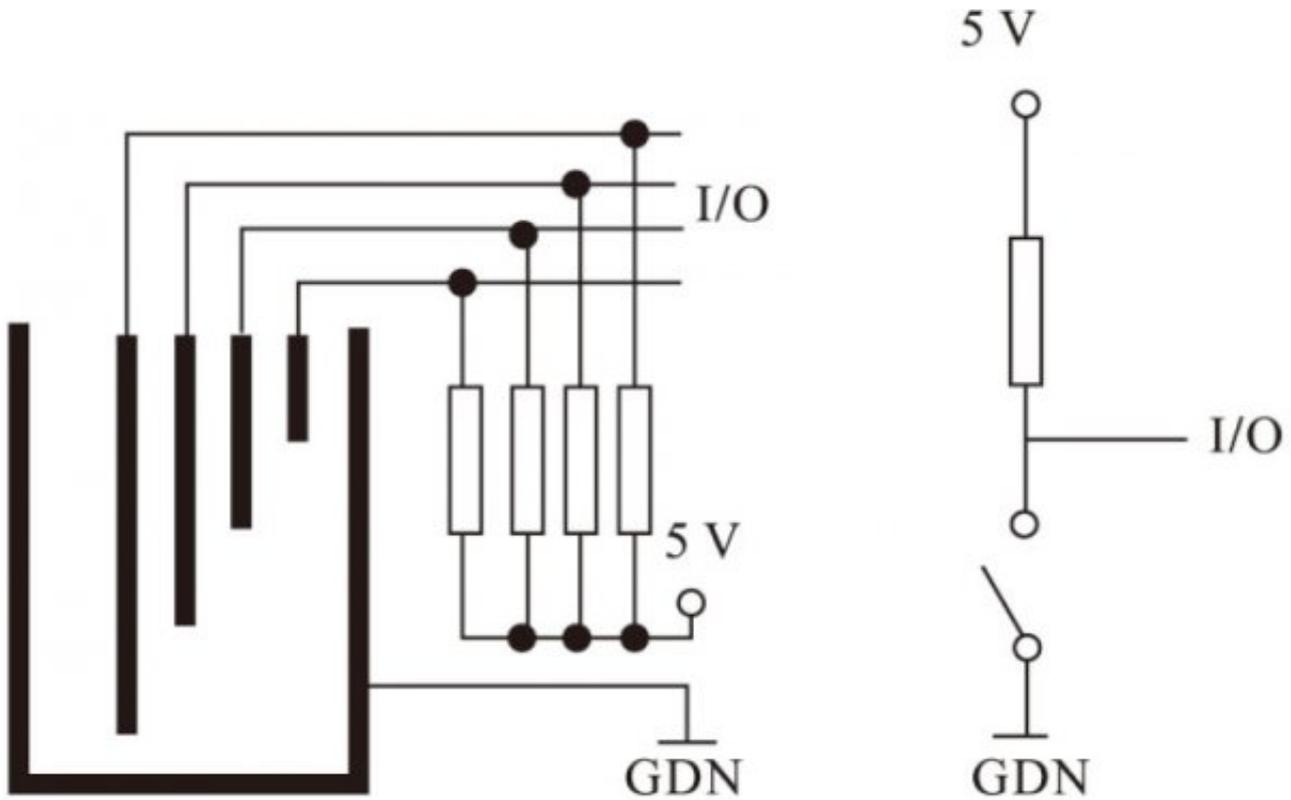


图 2 多点水位采集及指示原理

2.2 风机和水泵电路原理

由于控制器输出的电压是5V，而风机和水泵均为220V设备，所以选用5V的继电器驱动220V设备工作。同时，巧妙地把发光二极管和继电器线圈并联作为继电器的联动指示信号。其风机和水泵电路原理如图3所示。

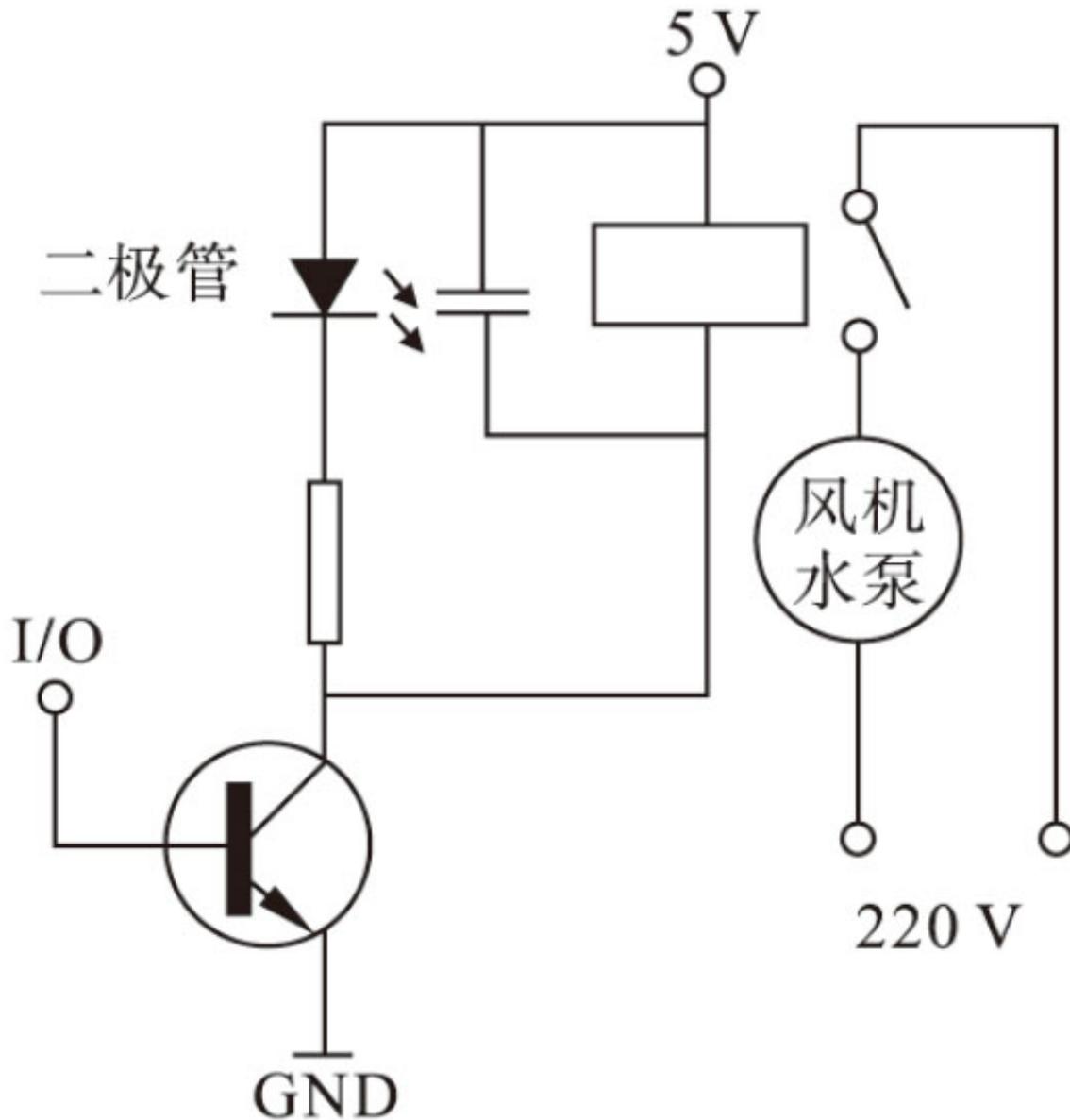


图 3 风机和水泵电路原理

2.3温度测量电路原理

该小型生物质锅炉智能控制器包含两大测温系统，分别为水温和环境温度[6]。测量温度除了可以使用热电偶、热电阻、热敏电阻等模拟温度传感器外，还可以使用数字温度传感器。该控制系统采用单总线数字温度传感器DS18B20测量环境温度，它可以把温度信号直接转换成串行数字信号输入给控制器MCU，而且一条总线上可同时连接多个DS18B20芯片。DS18B20测温范围为 $-55 \sim 125$ ，精度为 ± 0.5 ，具有成本低、易操作的特点。其室温测量电路原理如图4所示。

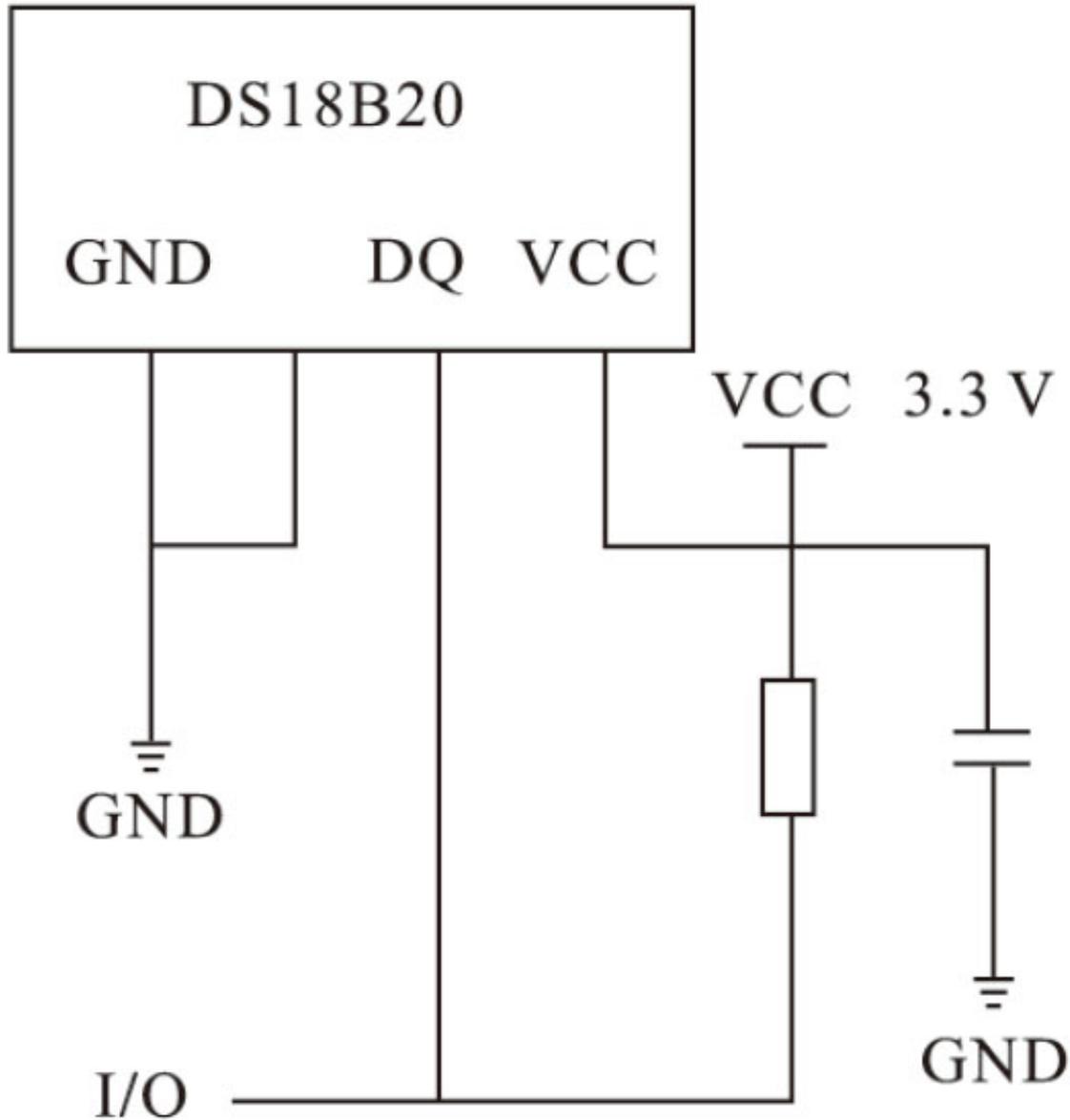


图 4 室温测量电路原理

该控制器采用热敏电阻测量水温度，NTC热敏半导体电阻大多是尖晶石结构或其他结构的氧化物陶瓷，具有负温度系数，热敏电阻阻值随着温度升高而减小，关系式可近似表示电阻值，如式(2)所示。

$$R_T = R_N \times \exp B \times (1/T - 1/T_N) \quad (2)$$

在式(2)中, R_T 、 R_N 分别为温度 T 、 T_N 时的电阻值, B 为材料常数。该关系式是经验公式, 只在额定温度或额定电阻阻值的有限范围内才具有一定的精确度, 材料常数 B 也是关于温度的函数。该控制器测温热敏电阻采用型号为 $R_{25} = 10 \text{ k}\Omega$, 它的测量范围一般为 $-10 \text{ }^\circ\text{C} \sim 300 \text{ }^\circ\text{C}$, 精度为 $\pm 1\%$; 材料常数 $B_{25} = 3950 \text{ K}$, 适用于高精度传感器和高精度应力分析^[7]。由于控制器只能接收 $0 \sim 3.3 \text{ V}$ 的电压信号, 需要将热敏电阻的阻值转化为相应的电压信号。

3软件设计

开发基于STM32系统的控制器, 可采用C语言编写程序[9]。一方面, 丰富的指令集直接面向硬件操作, 位指令、逻辑、关系表达式均可直接针对外设接口; 另一方面, 高级语言的描述, 可使用户摆脱与硬件不必要的接触, 描述语言可由编译器编译直接生成面向硬件的指令。由MDK编译生成的代码, 不论长度还是程序运行速度均能适应大多数控制系统要求, 其调试方便, 缩短了软件开发周期, 提高了控制效率。

显示室温的子程序如下所示:

由于 $R2 = U \times R1 / (3.3 - U)$, 将其带入式(2)中, 可以求出锅炉内水温度, 如式(3)所示。

$$T = 3950 \times 298.15 / (298.15 \times \ln R2 - 298.15 + 3950) - 273.15 \quad (3)$$

利用泰勒公式将式(3)中 $\ln R2$ 的展开, 令 $y = (R2 - 1) / (R2 + 1)$, 如式(4)所示。

$$\begin{aligned} \ln R2 = & 2 \times (R2 - 1) / (R2 + 1) (1 + 1/3 ((R2 - 1) / \\ & (R2 + 1))^2 + 1/5 ((R2 - 1) / (R2 + 1))^4 + \dots + \\ & (1/n!) f(n)(a) ((R2 - 1) / (R2 + 1))^n + \dots \end{aligned} \quad (4)$$

将式(4)带入到式(3)中, 得式(5)。

$$\begin{aligned} T = & 1177692.5 / (596.3 \times (r - 1) \times \\ & (1 + (r - 1) \times (r - 1) / (3 \times (r + 1) \times (r + 1)) + \\ & (r - 1) \times (r - 1) \times (r - 1) \times (r - 1) / (5 \times \\ & (r + 1) \times (r + 1) \times (r + 1) \times (r + 1))) / \\ & (r + 1) + 3950) - 273.15 \end{aligned} \quad (5)$$

根据参考文献[10]中嵌入式系统的介绍以及特点, 确定了基于STM32嵌入式系统控制器的控制程序:

1)进行I/O、定时器、中断系统、LCD显示器的初始化。

2)采集温度、液位等信号，进行故障检测，若发现故障，则蜂鸣报警，同时显示故障原因。

3)开始进入循环监测部分，先采集数据，检测故障。

4)进入相应的温度控制子程序、定时控制子程序、手动控制子程序、自动控制子程序、智能控制子程序等，完成锅炉控制系统的控制功能。

基于STM32的生物质锅炉智能控制器自动控制部分的软件程序，如图5所示。

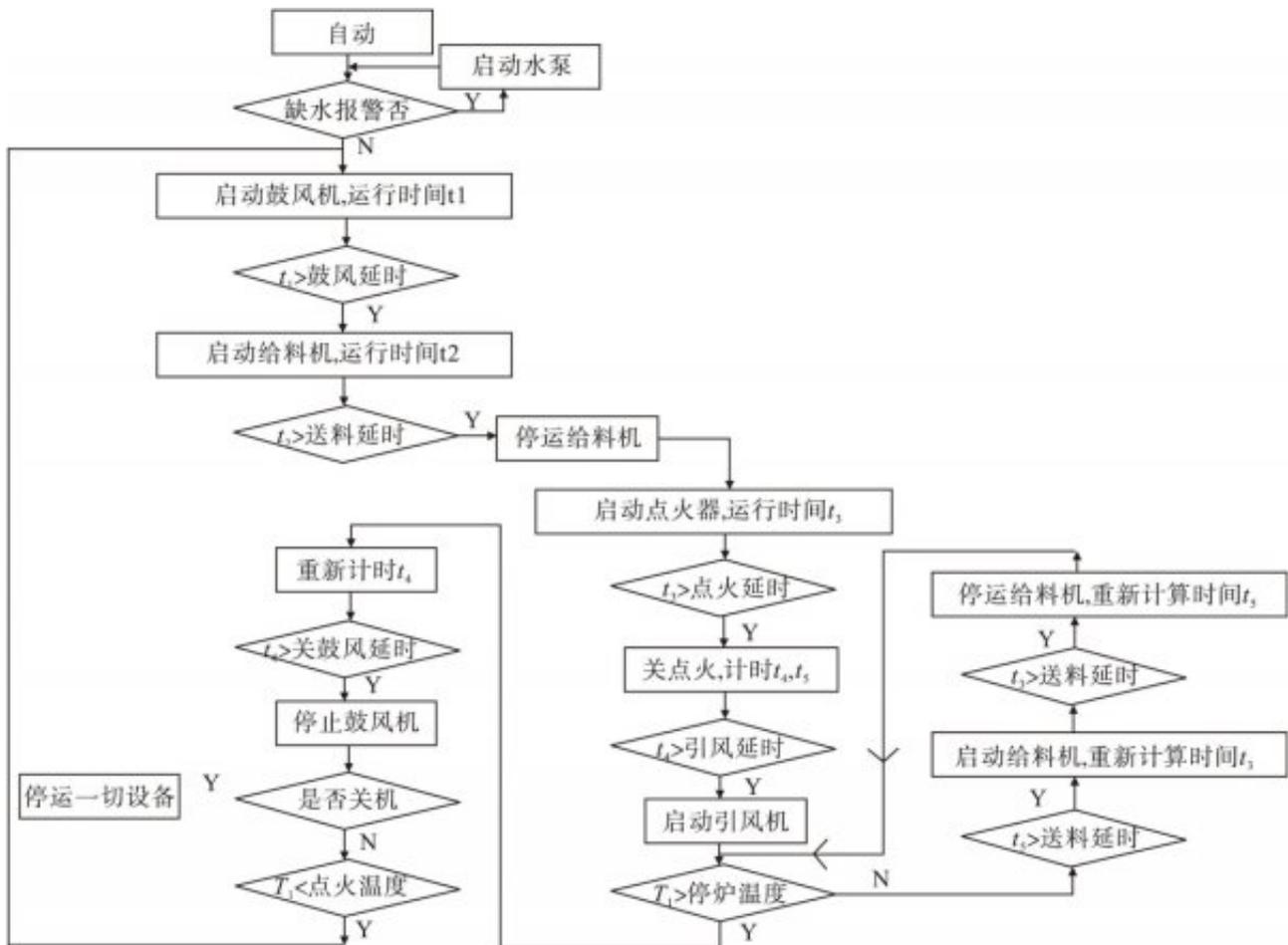


图 5 生物质锅炉智能控制器自动控制部分的软件程序

4试验及结果分析

4.1试验简介

试验在沈阳冬季11月~12月进行，试验环境是面积为

$F=80\text{m}^2$

的一楼室内，环境覆盖材料的平均传热系数为 $a=9.8\text{W}/(\text{m}^2$

$\cdot)$ 。室内加温采用小型生物质热水锅炉，其额定热功率为 0.035MW ，锅炉额定出水温度为 85 ，额定回水温度为 65 ，颗粒燃料的直径为 $6\sim 8\text{mm}$ 。由公式 $Q=Q \times T \times C$ ，可以求出锅炉供热量随加热时间的变化曲线，如图6所示。

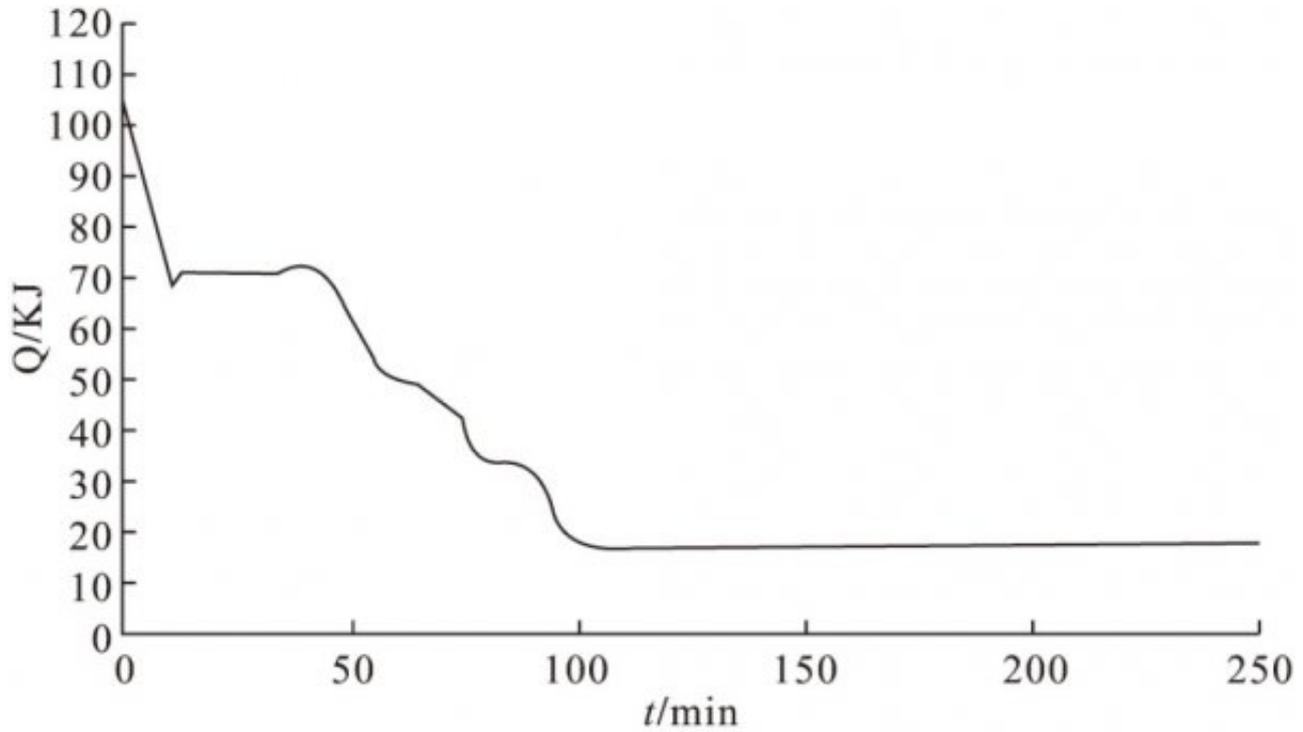


图 6 生物质锅炉供曲线

4.2 试验结果分析

实际测出的室内外温度如表1所示。将表1中的数据带入式(1)中，可以计算出室内温度 T_n 。把实际温度和计算的室内温度绘制成曲线，如图7所示。两条曲线对比的结果表明，该控制器的算法是可行的。

表 1 试验测试温度 °C

时间 t/min	室内实际温度 $T_{\text{实}}$	室外温度 $T_{\text{外}}$	计算室内温度 T_n	计算温度与实际温度误差
0	15	-3	15	0
9	16	-3	15.6	-0.4
12	17	-3	16.5	-0.5
20	18	-2.5	17.4	-0.6
30	19	-2.5	18.2	-0.8
43	20	-2.5	20.6	0.6
56	21	-2.5	21.5	0.5
64	22	-2.5	22.7	0.7
75	23	-2	23.9	0.9
78	24	-2	24.8	0.8
90	25	-2	25.1	0.1
100	26	-1	25.5	-0.5
120	25.3	0	25	-0.3
180	25.5	0	25	-0.5
250	24.9	0	25	0.1

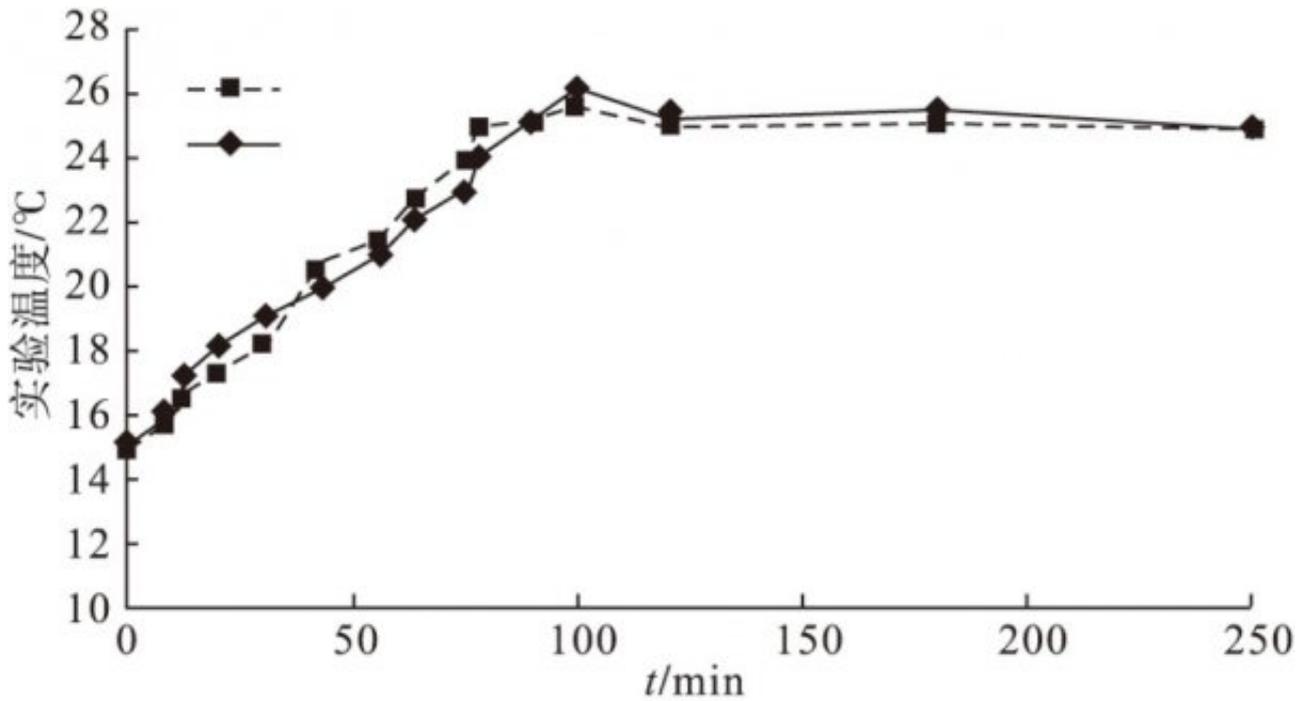


图7 实际温度和计算温度曲线

5结论

通过对小型生物质成型燃料锅炉系统的动态特性进行研究，提出了基于嵌入式系统的生物质锅炉智能控制器的设计构想，开发了一种适用于小型生物质锅炉的智能控制器，介绍了主要组成部分的功能并详细阐述了热敏电阻测温原理。将该控制器应用在小型生物质锅炉上进行供暖试验，可以使室内温度始终保持在用户最佳舒适度范围内，证明了该控制器具有稳态性能好、动态响应快、可靠性高等优点，基本上能达到控制要求。

参考文献

- [1] 夏玮玮, 沈连丰, 肖 婕, 等. 嵌入式系统关键技术分析与开发应用 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2003 (2): 5 - 8.
- [2] 杜尚丰, 王一鸣, 马承伟, 等. 温室环境温度智能控制算法研究 [J]. 计算机测量与控制, 2003, 11 (11): 850 - 852.
- [3] 谢守勇. 连栋温室温度算法研究 [J]. 农机化研究, 2007 (8): 92 - 95.
- [4] 陈 非, 孙灵芳. 锅炉燃烧控制的优化设计及应用 [J]. 电站系统工程, 2009, 25 (1): 57 - 58.
- [5] 李 磊. 基于 ARM 的嵌入式工业锅炉控制器的研究与设计 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007.
- [6] 胡润峰. NTC 热敏电阻温度传感器 [J]. 传感器世界, 2001 (7): 26 - 29.
- [7] 李学明. 基于 ATMEL9260 的嵌入式生理数据采集系统的研究与实现 [D]. 成都: 电子科技大学, 2011.
- [8] 沈友建, 黄孝鹏, 肖建东, 等. 基于 STM32 的机器人自主移动控制系统设计 [J]. 微型机与应用, 2016, 35 (18): 58 - 61.
- [9] 孟祥斌, 毛红艳, 王德军. 智能照明控制系统的设计 [J]. 沈阳工程学院学报: 自然科学版, 2015, 11 (1): 70 - 73.
- [10] WU Hong-xin, WANG Ying-chun, Xing Yan. Intelligent control based on intelligent characteristic model and its application [J]. SCIENCE IN CHINA, 2003, 46 (3): 245 - 241.
- [11] Guo Jian, Chen Qing-wei, Zhu Rui-jun et al. Adaptive predictive control for a class of nonlinear systems [J]. Control Theory and Application, 2002, 19 (1): 68 - 72.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/160089.html>